

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PARKIR
RUMAH SAKIT HUSADA UTAMA
DENGAN TINGKAT DAKTILITAS TERBATAS

Oleh :
BUDI HARIYANTO
3191.100.059

ABSTRAK

Gedung parkir bertingkat yang dibangun di kompleks Rumah Sakit Husada Utama Surabaya menggunakan struktur beton bertulang dengan memakai Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Dan penulis merencanakan kembali dengan struktur beton bertulang berdasarkan pada gambar arsitektur yang direncanakan oleh PT. Garis Matahari dengan menggunakan peraturan PBI 71 dan SK SNI T-15-1991-03. Selain itu perencanaan struktur gedung ini dianalisa dengan tingkat daktilitas terbatas. Hal-hal lain yang perlu juga diperhatikan dalam perencanaan struktur ini adalah pemilihan jenis struktur yang cocok dengan pertimbangan ketahanan terhadap gempa serta bagaimana merencanakan suatu struktur yang rasional, kuat, kaku dan aman. Metode perencanaan struktur dimulai dengan disain awal (preliminary design) dimensi masing-masing struktur. Kemudian dilakukan perhitungan gaya dalam yang bekerja pada struktur atas dan bawah. Struktur atas terdiri dari pelat, tangga, balok dan kolom sedangkan struktur bawah terdiri dari sloof, poer dan tiang pancang. Hasil perencanaan struktur berupa dimensi dan penulangan struktur dituangkan dalam bentuk tabel dan gambar struktur untuk kemudahan pelaksanaan.

D A F T A R N O T A S I

- a = tinggi blok persegi tegangan tekan ekivalen.
- A' = luas efektif beton tarik disekitar tulangan lentur tarik, mempunyai titik pusat sama dengan titik pusat tulangan tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan atau kawat (mm). Bila tulangan lentur terdiri dari batang tulangan atau kawat yang berbeda ukurannya, maka jumlah tulangan atau kawat harus dihitung sebagai luas total tulangan dibagi luas tulangan atau kawat terbesar yang digunakan.
- A = luas bagian penampang antara muka serat lentur tarik dan titik berat penampang bruto, mm^2 .
- Ag = luas bruto penampang, mm^2 .
- As = luas tulangan tarik non pratekan, mm^2 .
- As' = luas tulangan tekan, mm^2 .
- b = lebar dari muka tekan komponen struktur, mm.
- b_o = keliling dari penampang kritis pada pelat dan pondasi, mm.
- b_v = lebar badan balok, atau diameter penampang bulat.
- C_t = faktor yang menghubungkan sifat geser dan torsi.
- d = jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik, mm.
- d' = jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tekan, mm.
- db = diameter nominal dari batang tulangan , mm.
- dc = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke
-

-
- pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat, mm.
- E_c = modulus elastisitas beton, MPa.
- E_s = modulus elastisitas tulangan, MPa.
- f_y = kuat leleh yang disyaratkan dari tulangan non pratekan, MPa.
- f_c' = kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa.
- f_r = modulus keruntuhan lentur dari beton
- f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, MPa.
- h = tebal total komponen struktur, mm.
- k = faktor panjang efektif.
- l_c = jarak vertikal antara dua tumpuan.
- l_w = panjang horisontal dinding, mm.
- l_d = panjang penyaluran, mm.
- l_n = panjang bersih bentang dalam arah momen yang dihitung, diukur dari muka ke muka tumpuan.
- M_n = kuat momen nominal dari suatu penampang.
- M_u = kuat momen berfaktor pada suatu penampang.
- M_{1b} = nilai yang lebih kecil dari momen ujung berfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti.
- M_{2b} = nilai yang lebih besar dari momen ujung berfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti.
- N_u = beban aksial berfaktor yang normal terhadap penampang dan yang terjadi bersamaan dengan V_u , diambil positif
-

untuk tekan dan negatif untuk tarik, dan perhitungan pengaruh dari tarik akibat rangkai dan susut.

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan.

P_u = beban aksial berfaktor pada eksentrisitas yang diberikan kurang dari ϕP_n .

T_c = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton.

T_n = kuat momen torsi nominal.

T_s = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan torsi.

T_u = momen torsi berfaktor pada penampang.

V_u = gaya geser berfaktor pada penampang.

V_n = kuat geser nominal.

z = besaran pembatas distribusi tulangan lentur.

ϕ = faktor reduksi kekuatan.

ϕ = faktor reduksi kekuatan.

α = rasio dari kekuatan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral dari garis sumbu dari panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok.

α_m = nilai rata-rata dari α untuk semua balok pada tepi dari suatu panel.

β = rasio dari bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

β_c = rasio antara sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat atau pada tumpuan.

- β_s = rasio dari panjang tepi yang menerus terhadap perimeter total dari suatu panel pelat.
- β_l = faktor yang didefinisikan dalam SK SNI T-15-1991-03 ayat 3.3.2 butir 7 sub butir 3.
- ρ' = rasio tulangan tarik non pratekan.
- ρ = rasio tulangan tekan non pratekan.
- ρ_b = rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang berimbang.
- ρ_h = rasio dari luas tulangan geser horisontal terhadap luas bruto penampang beton vertikal.
- ρ_n = rasio dari luas tulangan geser vertikal terhadap luas bruto penampang beton horisontal.
- δ_b = faktor penbesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur di antara ujung-ujung komponen struktur tekan.
- δ_s = faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, untuk menggambarkan penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi.
-

B A B II

DASAR - DASAR PERENCANAAN

2.1 DATA - DATA PERENCANAAN

2.1.1 DATA BANGUNAN

Bangunan yang akan direncanakan adalah gedung parkir bertingkat yang dapat memenuhi kebutuhan parkir kendaraan bagi gedung rumah sakit. Gambar denah dan tampak dari gedung parkir ini terlampir di bagian belakang tugas akhir ini. Sedangkan data lainnya akan diuraikan berikut ini :

Nama Gedung	: Gedung Parkir Rumah Sakit Spesialis Husada Utama Surabaya
Lokasi	: Jl. Dharmahusada 31 - 35, Surabaya
Fungsi bangunan	: Tempat parkir dan Convention Hall
Tinggi gedung	: 36,60 m
Struktur	: Beton bertulang
Pondasi	: Tiang Pancang
Zone Gempa	: Zone 4 (Surabaya)
Jumlah lantai	: 10 lantai, terdiri dari <ul style="list-style-type: none">● lantai dasar● 7 lantai parkir● 1 lantai Convention Hall● 1 lantai atap

2.1.2 DATA TANAH

Data tanah diperoleh dari hasil penyelidikan tanah oleh Testana Engineering, Inc dengan menggunakan test sondir dan test boring. Dari hasil penyelidikan tanah didapat keterangan bahwa gedung parkir ini terletak pada lokasi tanah lempung kepasiran yang cukup lunak. Adapun data tanah selengkapnya terlampir.

2.1.3 PERATURAN - PERATURAN YANG DIPAKAI

Di dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis memakai pedoman dari beberapa peraturan yang ada antara lain :

- Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI '71)
- Pedoman Beton 1989 (PB '89)
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03)
- Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPI '83)
- Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung 1983 (PPTGIUG '83)
- Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983

2.1.4 MUTU BAHAN YANG DIPAKAI

Adapun mutu bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- Mutu beton : $f_c' = 24,61$ MPa untuk struktur sekunder
 $f_c' = 29,18$ MPa untuk struktur utama
- Mutu baja : $f_y = 240$ dan 320 MPa untuk struktur sekunder
 $f_y = 390$ MPa untuk struktur utama

2.1.5 PEMBEBANAN

Jenis - jenis pembebanan yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur gedung parkir ini adalah :

1. Beban Mati (PPI '83 - 1.2.1)

- Mencakup semua beban yang disebabkan oleh berat sendiri struktur yang bersifat tetap dan bagian lain yang tak terpisahkan dari gedung.

2. Beban hidup (PPI '83 - 3.1 & 3.2)

- Mencakup semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung sesuai dengan PPI '83, termasuk barang barang pada ruangan yang tidak permanen.
- Menurut PPI '83 pasal 3.1 & 3.2, besarnya beban hidup yang bekerja tergantung dari tingkat fungsional ruang itu sendiri.

Adapun beban hidup tersebut adalah :

Lantai parkir bawah	=	800 kg/m
Lantai parkir atas	=	400 kg/m ²
Lantai Convention Hall	=	500 kg/m ²
Lantai atap/Lap. Tennis	=	400 kg/m ²
Tangga dan bordes	=	300 kg/m ²

3. Reduksi Beban hidup

Menurut PPPURG 87 pasal 2.1.2.5 ayat 2, pada perencanaan balok-balok induk dan portal-portal dari sistem struktur pemikul beban dari suatu gedung, maka untuk memperhitungkan peluang terjadinya nilai-nilai beban hidup yang berubah-ubah, beban hidup perlu dikalikan dengan suatu koefisien reduksi yang nilainya tergantung pada perencanaan gedung yang ditinjau.

Koefisien reduksi beban hidup untuk tempat kendaraan (garasi, gedung parkir) adalah sebagai berikut (Tabel 4 PPPURG-87) :

- Untuk perencanaan balok induk dan portal = 0,9
- Untuk peninjauan gempa = 0,5

4. Beban Gempa

- Beban gempa ini didasarkan pada PPTGIUG '83 dengan zone gempa 4 untuk daerah Surabaya.

2.2 PENYEDERHANAAN STRUKTUR

Adapun penyederhanaan yang penulis ambil di dalam perencanaan struktur gedung parkir ini adalah sebagai berikut :

- a. Perencanaan disini hanya ditinjau dari segi teknisnya saja tanpa meninjau segi estetis dan ekonomisnya.
- b. Pelat dianggap sebagai diafragma yang sangat kaku untuk mendistribusikan beban gempa kepada kolom portal.
- c. Balok anak hanya bersifat membebani struktur utama yang berupa beban terpusat tetapi tidak mempengaruhi perilaku struktur utama
- d. Balok anak selain balok anak tepi yaitu yang terletak pada tepi pelat yang tidak menerus, direncanakan tidak menerima torsi sehingga tulangan torsi pada balok anak hanya dipasang minimum.
- e. Untuk perencanaan pondasi tiang pancang, penulis menggunakan tiang pancang yang sudah ada di pasaran.

2.3 METODE ANALISA DAN PERHITUNGAN

Untuk analisa struktur pada gedung ini ada beberapa cara yang di gunakan antara lain :

- Pada perhitungan gaya-gaya dalam pelat lantai dan pelat atap yang berbentuk persegi digunakan koefisien momen dari PBI '71 pasal 13.3 dan tabel 13.3.2.

- Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dari balok anak, digunakan ikhtisar momen dan gaya lintang dari PBI '71 pasal 13.2 serta program bantu SAP 90. Sedang penulangannya berdasarkan SKSNI '91.
- Untuk analisa statis dan dinamis struktur utama digunakan analisa 3 (tiga) dimensi dengan bantuan paket Program SAP'90. Struktur utama ini dimodelkan sebagai struktur Open Frame 3 dimensi (Space Frame).
- Karena kekakuan dalam arah bidang (in plane) dari kebanyakan lantai beton cukup tinggi, maka struktur beton tersebut dapat dimodelkan sebagai Rigid Floor Diaphragma.
- Untuk pemodelan dengan cara ini maka massa dari tiap - tiap lantai dapat diasumsikan terpusat pada satu nodal atau master joint (lumped mass parameter).

2.4 METODE PERENCANAAN

Langkah pertama dalam perencanaan adalah melakukan preliminary design agar dapat dihindari dimensi elemen-elemen struktur yang tidak memenuhi syarat/batas pemakaian dan kekuatan. Batas pemakaian berupa deformasi, lebar retak dan lendutan, sedangkan batas kekuatan berupa batas keruntuhan bahan.

Metode analisis yang dipakai adalah sesuai dengan Tata Cara Perhitungan Struktur Untuk Bangunan Gedung SK SNI T-15-1991-03, antara lain menyatakan (ayat 3.1.3) :

1. semua elemen struktur dari kerangka atau konstruksi menerus harus dirancang terhadap pengaruh maksimum dari beban berfaktor yang dihitung sesuai dengan analisa teori statis , kecuali bagian yang telah dimodifikasi,
2. kecuali untuk beton pratekan, metode analisis pendekatan untuk kerangka boleh digunakan untuk bangunan dengan tipe struktur, bentang dan tinggi tingkat yang umum.

Adapun perencanaan komponen struktur beton bertulang harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. semua komponen struktur harus diproporsikan untuk mendapatkan kekuatan yang cukup sesuai dengan ketentuan SK SNI T-15-1991-03, dengan menggunakan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ ,
2. khusus untuk komponen struktur beton bertulang non pratekan, komponen struktur boleh direncanakan dengan menggunakan beban kerja dan tegangan ijin untuk beban kerja sesuai dengan ketentuan dalam pasal 3.15.

2.4.1 LANGKAH AWAL PERENCANAAN

Sebagai langkah awal dalam setiap perencanaan struktur perlu dilakukan pengumpulan informasi perencanaan selengkap mungkin yang umumnya terdiri dari :

- deskripsi umum bangunan
- denah dan sistem struktur bangunan
- wilayah gempa dimana bangunan berada
- data pembebanan
- data tanah berdasarkan hasil penyelidikan tanah
- mutu bahan yang digunakan
- metode analisa dan desain struktur
- standar dan referensi yang dipakai dalam perencanaan

Dalam tahap ini denah dan konfigurasi bangunan berikut sistem strukturnya memenuhi persyaratan yang dikaji secara seksama, apakah telah memenuhi tata letak struktur, apakah perlu dilakukan dilatasi, adakah loncatan bidang muka, adakah perbedaan kekakuan antar tingkat yang cukup drastis dan apakah sistem penahan beban lateral segaris sumbu dari lantai teratas sampai ke pondasi.

Pada langkah awal ini, dilakukan pula idealisasi struktur dan estimasi dimensi komponen-komponen struktur sesuai dengan kebutuhan dan ketentuan dalam SK SNI T-15-1991-03. Setelah idealisasi struktur dan dimensi komponen-komponen struktur serta beban-beban sudah ditetapkan, maka dapat dilakukan analisis struktur dengan

metode perhitungan konvensional maupun dengan bantuan program komputer guna memperoleh besar dan arah gaya-gaya dalam yang bekerja pada setiap komponen struktur. Apabila tidak dikehendaki lain, pengaruh getaran gempa dapat diperhitungkan dalam bentuk beban gempa rencana statik ekuivalen yang bekerja pada setiap titik pusat massa lantai. Penentuan besarnya koefisien gempa dasar C harus dilakukan dengan memperhatikan wilayah gempa di mana bangunan berada, kondisi tanah di bawah bangunan dan waktu getar alami struktur.

2.4.2 PERENCANAAN TERHADAP GEMPA

Konfigurasi denah dari struktur gedung parkir ini adalah simetris dan bentuk bangunan dari gedung ini adalah beraturan. PPTGIUG '83 pasal 3.3 menyebutkan bahwa untuk gedung yang bentuknya beraturan (simetris) dan tinggi bangunan hanya 36,60 meter yaitu kurang dari 40 meter (PPTGIUG '83 pasal 3.5) maka untuk perencanaan terhadap gempa cukup dilakukan analisa beban statik ekuivalen, tidak perlu dengan analisa dinamis, tetapi dalam Tugas Akhir ini akan dicoba dengan analisa dinamis.

Metode penyelesaian yang dipakai dalam analisa dinamis pada perencanaan gedung ini adalah metode Respons Spectrum Analysis, dimana pada gedung akan dikenakan spectrum percepatan respons gempa rencana yang dihitung menurut diagram koefisien gempa dasar C untuk wilayah gempa 4 dengan struktur di atas tanah lunak.

2.4.2.1 Pengertian Daktilitas

Sesuai dengan filosofi perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia menurut PPTGIUG 83 bahwa perencanaan dari suatu struktur gedung pada daerah gempa haruslah menjamin struktur bangunan tersebut agar tidak rusak/runtuh oleh gempa kecil atau sedang, tetapi oleh gempa yang kuat struktur utama boleh rusak tapi tidak boleh sampai terjadi suatu keruntuhan gedung.

Hal ini dapat dicapai jika struktur gedung tersebut mampu melakukan perubahan bentuk secara daktail, dengan cara memencarkan energi gempa serta membatasi gaya gempa yang bekerja padanya.

Melelehnya elemen-elemen struktur akibat gempa kuat, ditandai dengan terbentuknya sejumlah sendi plastis. Jadi sesungguhnya pada fase ini perilaku struktur tidak lagi linier.

Suatu ukuran bagi kemampuan struktur untuk menyimpan dan memencarkan energi adalah perbandingan antara simpangan maximum (Δu) dan simpangan awal pada suatu kelelahan pertama (Δy) yang disebut sebagai faktor daktilitas (μ).

Untuk menjamin tersedianya daktilitas yang cukup dalam struktur tersebut harus dipenuhi syarat-syarat pendetailan yang diatur dalam buku Pedoman Perencanaan Tahan Gempa untuk Gedung 1983.

2.4.2.2 Tingkatan Daktilitas

Mengenai tingkatan daktilitas ini, SKSNI 91 pasal 3.14.1 mengklasifikasikan tingkat daktilitas sebagai berikut

a. Tingkat Daktilitas 1

- Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail pada struktur bangunan sangat sedikit (struktur sepenuhnya elastis). Beban rancang lateral dasar harus dikalikan dengan suatu faktor Type Struktur (K) sebesar 4.

b. Tingkat Daktilitas 2

- Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respons inelastis terhadap beban siklis yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan getas. Beban rancang lateral harus dikalikan 2.

c. Tingkat Daktilitas 3

- Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respons inelastis terhadap beban siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami keruntuhan. Beban rancang lateral dikalikan 1.

2.4.2.3 Dasar Pemilihan Tingkat Daktilitas Dua

Bila suatu gedung direncanakan dengan tingkat daktilitas 1, maka beban gempa yang direncanakan adalah 4 kali beban gempa yang dihitung sesuai dengan analisa respons spektrum. Karena besarnya beban gempa tersebut, maka ukuran penampang menjadi sangat besar, sehingga perencanaan bangunan menjadi tidak ekonomis lagi.

Perencanaan dengan tingkat daktilitas 3 (daktilitas penuh) akan memerlukan prosedur design yang lebih kompleks dan rumit karena harus menghitung kapasitas dari struktur tersebut (metode design kapasitas). Selain itu , untuk mencapai nilai daktilitas yang disyaratkan, dibutuhkan pengaturan pemasangan penulangan yang cukup rumit pada tempat-tempat sendi plastis yang diharapkan akan terjadi.

Karena kekompleksan dari daktilitas penuh ini, maka dikembangkanlah perencanaan dengan daktilitas terbatas. Pada struktur dengan daktilitas dua (terbatas), faktor daktilitasnya adalah 2 . Artinya beban gempa hanya dikalikan 2 sehingga tuntutan daktilitas untuk mengatasi gempa-gempa kuat yang melampaui taraf gempa rencana tidak setinggi perencanaan pada struktur dengan daktilitas penuh.

Dengan kata lain syarat-syarat pendetailan yang dituntut akan menjadi lebih longgar. Tetapi sebagai konsekwensinya , faktor jenis struktur untuk menghitung gaya geser dasar menjadi lebih besar.

2.4.2.4 Perencanaan dengan Tingkat Daktilitas 2

Perencanaan struktur dengan tingkat daktilitas 2 diatur dalam ps1 3.14.9. SKSNI 91 dengan memenuhi bab - bab sebelumnya.

Persyaratan Umum

- Gaya tekan aksial berfaktor yang bekerja pada komponen struktur tidak boleh melebihi $\frac{1}{10} A_g f_c'$.
- Bentang bersih dari komponen struktur rangka terbuka tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.
- Rasio lebar dan tinggi balok tidak boleh kurang dari 0.25.
- Lebar balok tidak boleh kurang dari 200 mm.
- Rasio tinggi antar kolom terhadap dimensi terpendek kolom tidak boleh lebih besar dari 25.
- Faktor type struktur yang dipakai harus diambil sama dengan 2 (K = 2).

Persyaratan Khusus

- Rasio tulangan longitudinal total tidak boleh kurang dari 1 % dan tidak boleh lebih dari 6 % .
- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup tunggal ataupun majemuk.

- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh lebih dari $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter sengkang, dan 300 mm.
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi $1/2$ dimensi terkecil dari suatu komponen struktur yang menerima lentur, atau 10 kali diameter tulangan memanjang dan harus lebih kecil dari 200 mm.
- Pada daerah sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam pasal 3.4 SKSNI 91.

BAB III PERENCANAAN PELAT

3.1 ANALISA DAN PERENCANAAN PELAT

3.1.1 PERENCANAAN PELAT

Pelat yang akan direncanakan terdiri dari 9 pelat lantai dan 1 pelat atap. Pada perencanaan ini terdapat beberapa lantai yang tipikal yaitu pada lantai 2 sampai lantai 8, sehingga perencanaan pada lantai-lantai tersebut adalah sama, baik pembebanan maupun penulangannya.

Pelat dibedakan menjadi dua macam yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat satu arah adalah pelat yang penulangannya hanya ke satu arah saja yaitu arah bentang terpendek. Hal ini disebabkan karena beban mati dan beban hidup yang bekerja pada pelat lantai dianggap dipikul seluruhnya oleh balok diarah pendek. Lazimnya ini terjadi pada panel pelat yang mempunyai panjang yang besarnya dua kali lebarnya atau lebih.

Sedangkan pelat dua arah adalah pelat dengan penulangan pada kedua sumbu bentangnya. Ini biasanya terjadi pada pelat yang mempunyai panjang yang besarnya kurang dari dua kali lebarnya. Adapun ketentuan tentang penetapan jenis pelat tersebut diatur sesuai dengan :

- SK SNI pasal 3.2.5.1.

Pelat direncanakan sebagai pelat satu arah apabila rasio bentang panjang dan pendeknya lebih dari dua.

- SK SNI pasal 3.2.5.3.

Pelat direncanakan sebagai pelat dua arah apabila rasio bentang panjang dan pendeknya lebih kecil atau sama dengan dua.

Pelat direncanakan menerima beban mati (DL), yang merupakan berat sendiri pelat dan beban hidup (LL), seperti yang diatur dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPI '83) berdasarkan fungsi tiap lantai pada gedung.

Kombinasi pembebanan yang dipakai sesuai dengan SK SNI 91 adalah :

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL$$

(SKSNI 91 psl 3.2.2.1)

3.1.2 DATA PERENCANAAN

- Mutu baja : U-24

$$f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2 = 240 \text{ MPa}$$

- Mutu beton : K-300

$$f_{ck}' = 300 \text{ kg/cm}^2 = 30 \text{ MPa}$$

Berdasarkan ps1 4.1.2.1. PB 89 :

$$\begin{aligned}
 f_c' &= \left[0,76 + 0,2 \log \left(\frac{f_{ck}'}{15} \right) \right] f_{ck}' \\
 &= \left[0,76 + 0,2 \log \left(\frac{30}{15} \right) \right] 30 \\
 &= 24,61 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3.1.3 PRELIMINARY DESAIN PELAT

Preliminary Desain Dimensi Balok Pengapit Pelat

Dimensi balok rencana dapat diambil sekitar :

- Tinggi balok (h) = (1/10 - 1/14) Lu
- Lebar balok (b) = (0,40 - 0,67) h

BALOK ANAK

$$Lu = 800 \text{ cm}$$

$$h = 1/14 \times 800 = 57,1 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

$$b = 0,50 \times 60 = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Jadi dimensi balok anak} = 30 \times 60 \text{ cm}^2$$

BALOK INDUK 1, 2, 3, 4 (BI 1, BI 2, BI 3 & BI 4)

$$Lu = 800 \text{ cm}$$

$$h = 1/12 \times 800 = 66,67 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

$$b = 0,67 \times 70 = 46,90 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$\text{Jadi dimensi balok induk 1, 2, 3, 4} = 50 \times 70 \text{ cm}^2$$

Balok INDUK A s/d F (BI A s/d BI F)

$$Lu = 800 \text{ cm}$$

$$h = 1/10 \times 800 = 80 \text{ cm}$$

$$b = 0,67 \times 80 = 53,6 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

$$\text{Jadi dimensi balok induk A s/d F} = 60 \times 80 \text{ cm}^2$$

Preliminary Desain Tebal Pelat

Tebal pelat dapat direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak diperlukan kontrol lendutan, yaitu dengan mengikuti ketentuan rumus SK SNI pasal 3.2-12 samapi dengan pasal 3.2-14 sebagai berikut :

$$h_1 = \frac{\ln (0.8 + f_y/1500)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0.12 (1 + \beta))} \dots\dots (\text{pers 1})$$

tetapi tidak kurang dari :

$$h_2 = \frac{\ln (0.8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta} \dots\dots (\text{pers 2})$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h_3 = \frac{\ln (0.8 + f_y/1500)}{36} \dots\dots (\text{pers 3})$$

dimana :

$$\beta = \frac{L_n}{S_n}$$

$$\alpha = \frac{E_{cb}}{E_{cs}} \frac{I_b}{I_s} \quad E_{cb} = E_{cs} = 4700 \sqrt{f'_{c'}}$$

α_m = rata-rata dari nilai-nilai α yang mengapit pelat

$$I_s = \frac{b_{\text{pelat}} h^3}{12}$$

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

b_e = lebar efektif yang merupakan harga minimum dari :

a. Interior $b_e = b_w + 2(h - t)$

$$b_e = b_w + 2(4t)$$

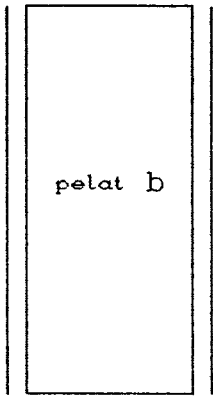
b. Eksterior $b_e = b_w + (h - t)$

$$b_e = b_w + 4t$$

di luar ketentuan diatas, SK SNI 91 mensyaratkan bahwa tebal minimum untuk $\alpha_m \geq 2$, pelat tidak boleh kurang dari 90 mm.

Contoh perhitungan tebal pelat

Sebagai contoh diambil type pelat B (tebal rencana = 13 cm)



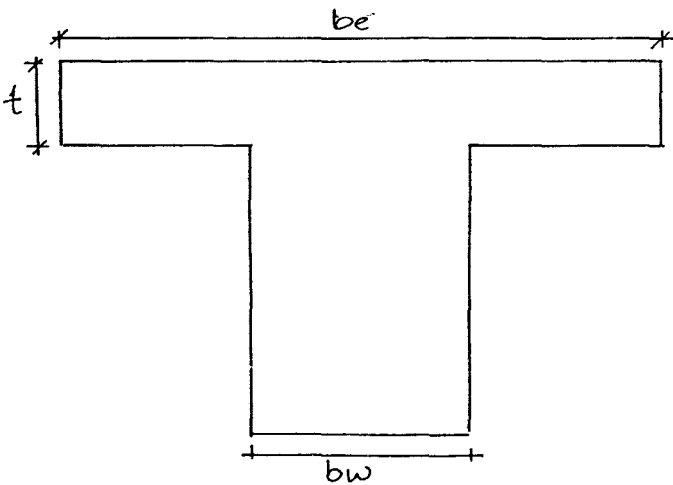
Dimensi pelat B

$$L_n = 730 \text{ cm}$$

$$S_n = 365 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = 2,00$$

1. Balok interior 60/80



$$\begin{aligned} be1 &= bw + 2(h - t) \\ &= 60 + 2(80 - 13) \\ &= 194 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be2 &= bw + 8t \\ &= 60 + 8 \times 13 \\ &= 164 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{164}{60} - 1\right) \left(\frac{13}{80}\right) \left[4 - 6\left(\frac{13}{80}\right) + \left(\frac{13}{80}\right)^2 + \left(\frac{164}{60} - 1\right) \left(\frac{13}{80}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{164}{60} - 1\right) \left(\frac{13}{80}\right)}$$

$$= 1,470$$

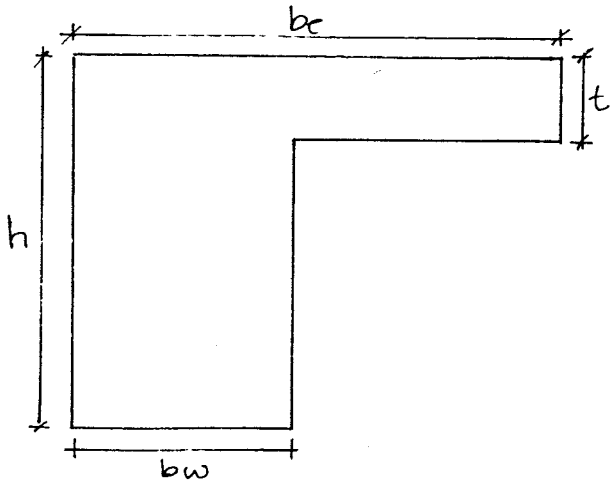
$$I_b = k \frac{bw h^3}{12} = 1,470 \frac{60 \times 80^3}{12} = 3762876 \text{ cm}^4$$

$$I_s = \frac{b_{pelat} h^3}{12} = \frac{400 \times 80^3}{12} = 73233,33 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_s} = 51,38$$

2. Balok exterior 30/60

Dengan cara seperti diatas didapatkan



$$b_e = 124 \text{ cm}$$

$$k = 1,776$$

$$I_b = 959171,8 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 146467 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_2 = 6,55$$

3. Balok interior 60/80

Dengan cara seperti diatas didapatkan

$$b_e = 164 \text{ cm}$$

$$k = 1,469$$

$$I_b = 3762876 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 73233,33 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_3 = 51,38$$

4. Balok interior 50/70

Dengan cara seperti diatas didapatkan

$$b_e = 154 \text{ cm}$$

$$k = 1,568$$

$$I_b = 2240369 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 146467 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_4 = 15,30$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = 31,15$$

Kontrol tebal pelat

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{\ln (0.8 + f_y/1500)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0.12 (1 + \beta))} \dots\dots (\text{pers 1}) \\
 &= \frac{730 (0.8 + 320/1500)}{36 + 5 \times 2 (31.15 - 0.12 (1 + 2))} \\
 &= 2.03 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

tetapi tidak kurang dari :

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{\ln (0.8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta} \dots\dots (\text{pers 2}) \\
 &= \frac{730 (0.8 + 320/1500)}{36 + 9 \times 2} = 12.98 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$\begin{aligned}
 h_3 &= \frac{\ln (0.8 + f_y/1500)}{36} \dots\dots (\text{pers 3}) \\
 &= \frac{730 (0.8 + 320/1500)}{36} = 19.47 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tebal pelat 13 cm

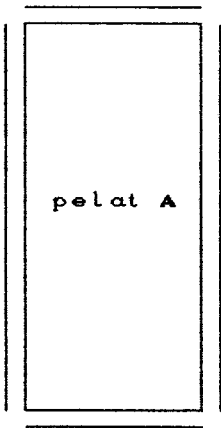
Dimensi dan Bentuk Pelat

Pada perhitungan tebal minimum pelat, diambil model-model pelat yang berada di pojok (cornel panel). Hal ini dikarenakan nilai β pada cornel panel mempunyai nilai

ang lebih kecil sehingga penyebut dari persamaan tebal pelat
i atas menjadi lebih kecil pula, otomatis tebal pelat
imum pelat yang disyaratkan menjadi lebih besar (aman).

Adapun model-model pelat pada gedung ini adalah :

. Pelat tipe A



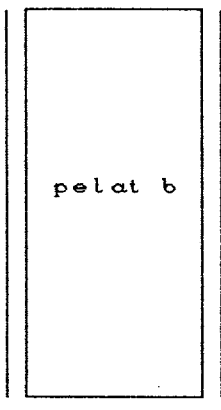
$$L_n = 730 \text{ cm}$$

$$S_n = 365 \text{ cm}$$

$$\beta = 2,0$$

gambar 3.1 Pelat A

. Pelat tipe B



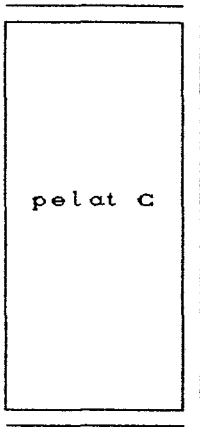
$$L_n = 730 \text{ cm}$$

$$S_n = 365 \text{ cm}$$

$$\beta = 2,0$$

gambar 3.2 Pelat B

3. Pelat tipe C



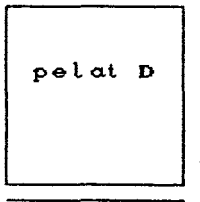
$$L_n = 730 \text{ cm}$$

$$S_n = 365 \text{ cm}$$

$$\beta = 2,0$$

gambar 3.3 Pelat C

4. Pelat tipe D



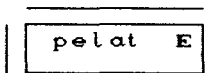
$$L_n = 400 \text{ cm}$$

$$S_n = 400 \text{ cm}$$

$$\beta = 1,0$$

gambar 3.4 Pelat D

5. Pelat E



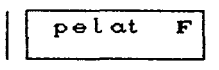
$$L_n = 400 \text{ cm}$$

$$S_n = 250 \text{ cm}$$

$$\beta = 1,60$$

gambar 3.5 pelat E

6. Pelat F



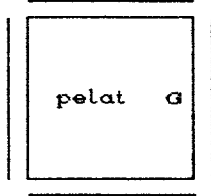
$$L_n = 400 \text{ cm}$$

$$S_n = 200 \text{ cm}$$

$$\beta = 2,00$$

gambar 3.6 pelat F

7. Pelat G



$$L_n = 800 \text{ cm}$$

$$S_n = 600 \text{ cm}$$

$$\beta = 1,33$$

gambar 3.7 pelat G

Dari hasil perhitungan tebal pelat minimum untuk berbagai model pelat yang ada, maka diambil tebal pelat sebagai berikut :

- Tebal pelat lantai dan atap = 130 mm
- Tebal pelat miring (ramp) = 160 mm

Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel perencanaan tebal pelat pada lampiran.

3.1.4 PEMBEBANAN PADA PELAT

Pembebanan pelat dilakukan berdasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983. Adapun beban-beban yang bekerja adalah sebagai berikut :

1. Pembebanan pelat atap (Lapangan Tennis)*a. Beban mati :*

$$\begin{aligned}
 - \text{berat sendiri pelat} &= 0,13 \times 2400 = 312 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{perataan} &= 0,03 \times 2200 = 66 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{lantai tennis} &= 0,06 \times 1700 = 102 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{plafond + penggantung} &= 11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{ducting AC + pipa-pipa} &= 10 \text{ kg/m}^2 + \\
 \hline
 \text{DL} &= 508 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

b. Beban hidup :

$$\begin{aligned}
 - \text{beban hidup lantai tennis} &= 400 \text{ kg/m}^2 + \\
 \hline
 \text{LL} &= 400 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 \times 508 + 1,6 \times 400 \\
 &= 1249,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

2. Pelat Lantai Convention Hall (level 9)*a. Beban mati :*

$$\begin{aligned}
 - \text{berat sendiri pelat} &= 0,13 \times 2400 = 312 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{perataan} &= 0,03 \times 1700 = 51 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{tegél + spesi (6 cm)} &= 0,06 \times 2200 = 132 \text{ kg/m}^2 + \\
 \hline
 \text{DL} &= 495 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

b. Beban hidup :

$$- \text{PPI '83 tabel 3.1} \longrightarrow \text{LL} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 \times 495 + 1,6 \times 500 \\
 &= 1394 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Pelat Lantai Parkir Typical (level 2 - 8)*a. Beban mati :*

$$\begin{array}{rcl} - \text{berat sendiri pelat} & = 0,13 \times 2400 & = 312 \text{ kg/m}^2 \\ - \text{perataan} & = 0,04 \times 2200 & = 88 \text{ kg/m}^2 \\ & & \hline & \text{DL} & = 400 \text{ kg/m}^2 \end{array} +$$

b. Beban hidup :

$$- \text{PPI '83 tabel 3.1} \longrightarrow \text{LL} = 400 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times 400 + 1,6 \times 400 \\ &= 1120 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4. Pelat Lantai Parkir (level 1)*a. Beban mati :*

$$\begin{array}{rcl} - \text{berat sendiri pelat} & = 0,13 \times 2400 & = 312 \text{ kg/m}^2 \\ - \text{perataan} & = 0,04 \times 2200 & = 88 \text{ kg/m}^2 \\ & & \hline & & = 400 \text{ kg/m}^2 \end{array} +$$

b. Beban hidup :

$$- \text{PPI '83 tabel 3.1} \longrightarrow \text{LL} = 800 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times 400 + 1,6 \times 800 \\ &= 1760 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

3.1.5 PERMODELAN DAN ANALISA MOMEN PADA PELAT

Pada permodelan pelat di dalam tugas akhir ini, pelat dianggap terjepit elastis pada keempat sisinya. Hal ini dikarenakan bahwa pada tepi-tepi pelat (baik yang menerus maupun yang tidak menerus) pasti terjadi perputaran sudut (rotasi).

Pertimbangan lain permodelan ini adalah bila pelat dianggap terjepit penuh pada keempat sisinya maka dianggap momen-momen yang terjadi sebagian besar akan diterima oleh tumpuannya sehingga nilai momen lapangan akan selalu lebih kecil. Padahal pada keadaan sesungguhnya tepi pelat dapat berputar.

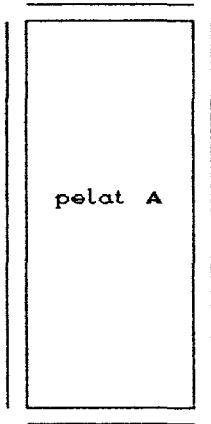
Lain halnya jika pelat dimodelkan terjepit elastis pada keempat sisinya. Pada permodelan jepit elastis maka besarnya momen pada lapangan akan mendekati momen tumpuannya (khusus untuk pelat yang ditumpu pada keempat sisinya) sehingga permodelan struktur lebih aman.

Momen-momen yang terjadi pada pelat dihitung dengan menggunakan Tabel 13.3.2 PBI '71. Hasil perhitungan momen pelat akan ditabelkan dan dapat dilihat pada lampiran.

Untuk mempermudah pelaksanaan di lapangan, jarak penulangan pelat diusahakan sedapat mungkin seragam. Oleh karena itu pada perhitungan penulangan pelat ini, hanya bagian-bagian yang dianggap cukup menentukan saja yang diperhitungkan.

3.1.6 PERHITUNGAN PENULANGAN PELAT

Sebagai contoh cara menghitung penulangan pelat dua arah, diambil pelat lantai type A.



$$L_y = 730 \text{ cm}$$

$$L_x = 365 \text{ cm}$$

$$f_c' = 24,61 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

Langkah - langkah perhitungan

a. Direncanakan pelat

- tebal pelat = 13 cm
- decking = 4 cm
- ϕ tulangan = \emptyset 12

b. Hitung momen-momen yang bekerja pada pelat

Momen-momen dari pelat diambil dari PBI 71 tabel 13.3.2.

(anggapan jepit elastis)

$$q_u = 1760 \text{ kg/m}^2$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \beta = 2,0 \quad \longrightarrow \quad C_x = 62$$

$$C_y = 35$$

$$\begin{aligned} M_{lx} = - M_{tx} &= 0,001 \text{ qu } L_x^2 C_x \\ &= 0,001 \times 1760 \times 3,65^2 \times 62 \\ &= 1453,75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} = - M_{ty} &= 0,001 \text{ qu } L_x^2 C_y \\ &= 0,001 \times 1760 \times 3,65^2 \times 35 \\ &= 820,67 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$f_c' = 24,61 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}, \quad \text{maka } \beta_1 = 0,85$$

c. Hitung ρ_b , ρ_{\max} , dan ρ_{\min}

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SKSNI } 3.1.4)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 24,61 \times 0,85}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right)$$

$$= 0,0529$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \quad (\text{SKSNI } 3.3.3)$$

$$= 0,75 \times 0,0529$$

$$= 0,03967$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{SKSNI } 3.3.5)$$

$$= \frac{1,4}{240} = 0,00583$$

d. Hitung tulangan yang diperlukan (A_s)

• Penulangan lentur arah x :

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 130 - 40 - 0.5 \times 12 = 84 \text{ mm}$$

$$M_{lx} = - M_{tx} = 1453,75 \text{ kgm} = 1453,75 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1453,75 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 84^2} = 2,58$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{240}{0.85 \times 24,61} = 11,47$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,47 \times 2,58}{240}} \right) \\ &= 0,0113 > \rho_{\min} = 0,00583 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan yang dibutuhkan :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho b d = 0.0113 \times 100 \times 8,4 = 9,520 \text{ cm}^2$$

Dipakai tulangan $\phi 12 - 80$ (A_s ada = $14,14 \text{ cm}^2$)

e. Kontrol spasi maksimum (SKSNI 91 pasal 3.16.6.5)

$$s_{\text{max}} = 2 \times t \text{ atau } 500 \text{ mm}$$

$$= 2 \times 13 = 26 \text{ cm}$$

$$s_{\text{terpasang}} = 8 \text{ cm} < s_{\text{max}} = 26 \text{ cm}$$

f. Tulangan susut dan suhu

Tulangan susut dan suhu hanya disediakan untuk pelat-pelat dimana tulangan lenturnya memanjang hanya dalam satu arah saja (pelat satu arah) dan pelat-pelat yang berhubungan secara langsung dengan sinar matahari (pelat atap).

Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus dengan arah tulangan memanjang dengan spasi tidak boleh lebih dari lima kali tebal pelat atau 500 mm (SKSNI 91 pasal 3.16.12.2).

Rasio tulangan susut dan suhu harus diambil sebesar 0,002 (0,2 %) untuk pelat yang menggunakan tulangan deform mutu 300 atau 0,0018 untuk tulangan deform mutu 400.

● *Penulangan lentur arah y :*

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 130 - 40 - 12 - 0,5 \times 12 = 72 \text{ mm}$$

$$M_{ly} = - M_{ty} = 820,67 \text{ kgm} = 820,67 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{820,670 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 72^2} = 1,979$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{240}{0,85 \times 24,61} = 11,47$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,47 \times 1,979}{240}} \right)$$

$$= 0.00868 > \rho_{\min} = 0.00583$$

Sehingga tulangan yang dibutuhkan :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho b d = 0.00868 \times 100 \times 7,2 = 6,250 \text{ cm}^2$$

Dipakai tulangan $\phi 12 - 120$ ($A_s \text{ ada} = 9,42 \text{ cm}^2$).

$$s_{\text{max}} = 2 \times t$$

$$= 2 \times 13 = 26 \text{ cm}$$

$$s_{\text{terpasang}} = 12 \text{ cm} < s_{\text{max}} = 26 \text{ cm}$$

Untuk penulangan pelat type yang lainnya dapat dilihat pada tabel penulangan pelat pada lampiran.

3.1.7 KONTROL LENDUTAN

Menurut PBI '71 pasal 10.5.2, untuk pelat dengan bentang terpendek kurang dari 4,5 meter, lendutan pelat tak perlu diperiksa asalkan tebal pelat lebih besar dari $1/35$ kali bentang terkecil tersebut. Hal ini berarti tebal pelat minimum jika lendutan tidak dihitung menurut PBI '71 adalah $1/35 \times 365 \text{ cm} = 10.43 \text{ cm}$. Sedangkan tebal pelat yang ada sebesar $13 \text{ cm} > 10.43 \text{ cm}$. Jadi lendutan tidak perlu diperiksa.

Di dalam SKSNI 91 juga menyebutkan bahwa jika tebal pelat yang ada lebih besar atau sama dengan tebal pelat

minimum yang dihitung dengan kedua rumus SKSNI 91 pasal 3.2.5.3 persamaan 3.2-12 dan 3.2-13 untuk pelat dua arah, maka lendutan tidak perlu dihitung lagi.

3.1.8 KONTROL RETAK

Chu Kia Wang dan Charles G. Salmon di dalam diktat karangannya yaitu " Reinforced Concrete Design " mengatakan bahwa sistem pelat dua arah yang menggunakan tulangan dengan $f_y < 60000 \text{ psi}$ ($413,7 \text{ Mpa}$) tidak perlu dilakukan peninjauan terhadap retak yang terjadi. Mutu tulangan yang dipakai pada perencanaan pelat ini adalah tulangan U.24 dengan $f_y = 240 \text{ Mpa}$ $< 413,7 \text{ MPa}$, jadi retak tidak perlu diperiksa.

Tetapi untuk pelat satu arah pengendalian retak khususnya menjadi penting bila dipakai tulangan yang tegangan lelehnya lebih dari 280 MPa , atau apabila prosentase tulangan melebihi dari yang lazimnya dipakai dalam metode kerja. Adapun secara keseluruhan SKSNI 91 pasal 3.3.6 butir 4 mengatur apabila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa , penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus diproporsikan sedemikian sehingga nilai z yang diberikan oleh :

$$z = f_s \sqrt[3]{d c A}$$

tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang didalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Bila analisa elastis tidak dilakukan, f_s dapat diambil sebesar $0,6 f_y$.

3.1.9 KONTROL BEBAN TEKANAN RODA

Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Dan Jalan Raya, untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan, harus digunakan beban "T" (terpusat). Dimana beban "T" adalah beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (dual wheel load) sebesar 10 ton.

Karena lantai kendaraan gedung parkir ini direncanakan hanya menerima beban kendaraan kelas III (50% beban "T") maka kontrol beban terpusat sebesar 5 (lima) ton dilakukan pada beberapa tempat yang kritis, beban "T" diletakkan pada tengah-tengah dan ujung dari pelat.

Analisa yang digunakan untuk kontrol ini adalah dengan perhitungan mekanika teknik statis tertentu. Dari hasil perhitungan ini didapatkan momen yang lebih kecil bila dibandingkan pada pembebanan merata akibat beban hidup 400 kg/m^2 . Hal ini berarti tebal pelat cukup kuat untuk menahan beban tersebut.

BAB IV

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

Pada perencanaan suatu gedung, bagian - bagian struktur yang ada dibagi menjadi 2 golongan berdasarkan fungsinya dalam mendukung kekuatan dari gedung tersebut.

Pertama adalah unsur primer atau struktur utama yaitu bagian dari keseluruhan gedung yang diidealisasikan sebagai suatu kesatuan struktur yang menerima seluruh beban yang terjadi dan menyalurkan ke tanah melalui pondasi. Beban tersebut meliputi beban gravitasi (baik beban mati maupun beban hidup) dan juga beban lateral seperti gempa, angin dan sebagainya.

Kedua adalah unsur sekunder atau struktur sekunder yang hanya direncanakan untuk kuat menerima beban yang langsung diterimanya dan kemudian menyalurkannya kepada struktur utama. sehingga struktur itu dianggap tidak berperan dalam menentukan ketahanan atau kekuatan serta perilaku dari gedung secara keseluruhan.

Pada bab ini akan dibahas perencanaan struktur sekunder, yang pada perhitungannya sengaja dipisahkan dari perhitungan struktur utama untuk mempermudah. Dari hasil perhitungan struktur sekunder ini akan diperoleh beban - beban yang akan disalurkan kepada struktur utama, yang dibahas pada bab berikutnya.

4.1 ANALISA DAN PERENCANAAN TANGGA

Perencanaan struktur tangga dapat dilakukan dengan beberapa macam alternatif, baik konstruksi maupun perletakannya. Konstruksi tangga dapat direncanakan sebagai balok tipis (frame), pelat (shell), maupun konstruksi balok dan pelat. Perbedaan dalam pengambilan asumsi akan menentukan bentuk konstruksinya.

Perletakan tangga dapat diasumsikan sebagai sendi - sendi, sendi - jepit, atau jepit - jepit. Perbedaan dalam pengambilan asumsi perletakan ini akan menentukan cara penulangan dan konsentrasi penulangan konstruksinya serta pengaruhnya terhadap struktur secara keseluruhan.

Tangga pada gedung ini direncanakan dengan konstruksi balok dan pelat serta dimodelkan sebagai sistem tangga yang tertumpu pada dua sisinya yaitu tertumpu rol pada balok bordes dan tertumpu sendi pada balok lantai bawah atau lantai atas dengan pemisahan antara tangga kiri dan tangga kanan dengan suatu siar dilatasi sebesar ± 1 cm pada tengah bordes yang nantinya diisi dengan aspal.

Hal ini sesuai dengan peraturan gempa mengenai pemisahan struktur sekunder terhadap struktur utamanya, sehingga struktur sekunder hanya bersifat membebani struktur utama tanpa mempengaruhi kekakuannya.

Gaya-gaya dalam dari tangga ini dianalisa dengan bantuan SAP 90 dengan memisalkan struktur tangga sebagai element frame yang tertumpu sendi dan rol pada kedua ujungnya.

4.1.1 PRELIMINARY DESIGN

Menurut Imam Subarkah, perencanaan injakan tangga adalah sebagai berikut :

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 62 \text{ cm, dimana } t = \text{tinggi injakan}$$

$$i = \text{lebar injakan}$$

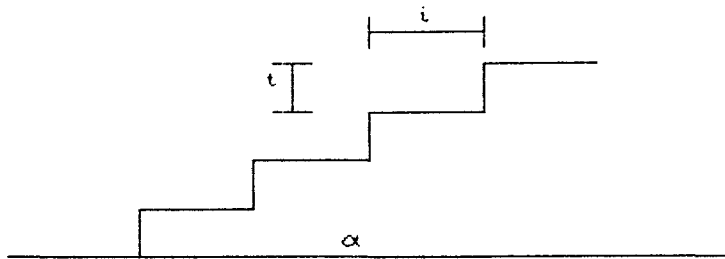
Sedangkan kemiringan tangga (α) besarnya tidak melebihi 40° .

$$\text{Diambil } i = 28 \text{ cm, maka } 60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 62 \text{ cm}$$

$$16 \text{ cm} \leq t \leq 17 \text{ cm}$$

Jadi direncanakan konstruksi tangga sebagai berikut :

- tinggi antar lantai = 3,00 m
- tinggi injakan (t) = 16,67 cm
- lebar injakan (i) = 28 cm
- jumlah anak tangga = $150 / 16,67 = 9$ buah
- panjang pelat tangga = $9 \times 28 = 252 \text{ cm}$
- sudut kemiringan tangga (α) = $\text{arc Tg} \left(\frac{150}{16,67} \right)$
= $28,18^\circ$



GAMBAR DIMENSI ANAK TANGGA

4.1.2 PEMBEBANAN PADA TANGGA DAN BORDES

Beban-beban yang bekerja pada tangga meliputi berat sendiri tangga ditambah beban hidup merata di atasnya. Di dalam analisisnya beban-beban ini akan dijadikan beban merata yang membebani pelat tangga.

● Perhitungan tebal rata-rata pelat tangga

- kemiringan tangga (α) = 28,18

- tebal pelat rata - rata anak tangga :

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{(t/2)^2 + (i/2)^2} \\ &= \sqrt{(28 / 2)^2 + (16,67 / 2)^2} \\ &= 16,29 \text{ cm} \end{aligned}$$

- luas segitiga = $1/2 \times a \times tr$

$$1/2 \times 16,29,03 \times tr = 1/2 \times 28/2 \times 16,67/2$$

$$tr = 7,16 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{- tebal plat rata - rata} &= \text{tebal pelat tangga} + tr \\ &= 13 + 7,16 = 20,16 \text{ cm} \end{aligned}$$

1. Pembebanan pada pelat tangga* *Beban mati :*

$$- \text{plat tangga} = \frac{0,2016}{\cos 28,18} \times 2400 = 426,49 \text{ kg/m}^2$$

$$- \text{spesi + tegel} = 0,04 \times 2200 \times \frac{16,67+28}{28} = 140,39 \text{ kg/m}^2$$

$$- \text{sandaran dari besi} = \frac{20}{\cos 28,18} = 22,69 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL} = 589,57 \text{ kg/m}^2$$

* *Beban hidup*

$$\text{LL} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times 589,57 + 1,6 \times 300$$

$$= 1187,484 \text{ kg/m}^2$$

2. Pembebanan pada pelat bordes* *Beban mati :*

$$- \text{plat tangga} = 0,14 \times 2400 = 312 \text{ kg/m}^2$$

$$- \text{spesi + tegel} = 0,04 \times 2200 = 88 \text{ kg/m}^2$$

$$- \text{sandaran dari besi} = 20 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL} = 420 \text{ kg/m}^2$$

* *Beban hidup*

$$\text{LL} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

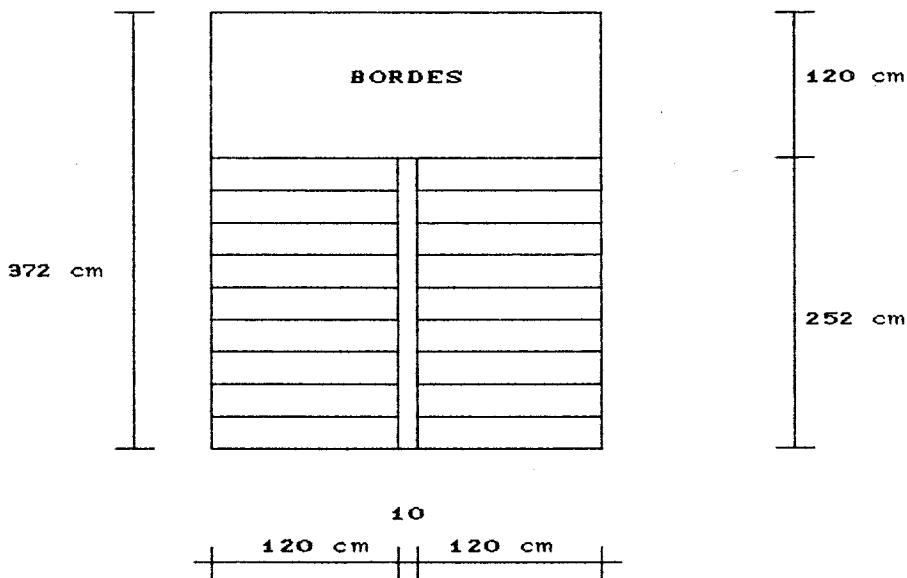
$$= 1,2 \times 420 + 1,6 \times 300$$

$$= 984 \text{ kg/m}^2$$

4.1.3 ANALISA GAYA - GAYA DALAM TANGGA

Gaya-gaya dalam dari tangga ini dianalisa dengan bantuan SAP 90 dengan memisalkan struktur tangga sebagai element frame yang tertumpu sendi dan rol pada kedua ujungnya.

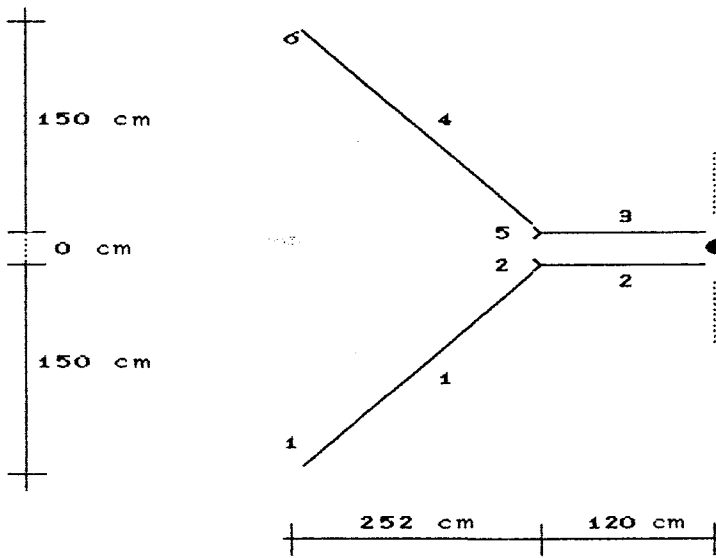
Type tangga



GAMBAR TYPE TANGGA

- tinggi antar lantai = 300 cm
- lebar tangga = 120 cm
- panjang tangga = 252 cm
- lebar bordes = 120 cm
- kemiringan tangga = 28,18
- tebal pelat tangga = 13 cm

- tebal pelat bordes = 13 cm
- tinggi anak tangga (t) = 16,67 cm
- lebar anak tangga (i) = 28 cm



GAMBAR PERMODELAN TYPE TANGGA

4.1.4 PERHITUNGAN PENULANGAN TANGGA

Secara umum pelat tangga direncanakan bertulang rangkap, sebab meskipun tulangan tekan tidak memberikan sumbangan kekuatan yang terlalu besar didalam lentur, namun peranannya sangat penting dalam mengatasi masalah lendutan jangka panjang. Sedang untuk anak - anak tangga, tulangan dipasang secara praktis terutama untuk mengatasi susut dan memberi bentuk.

Cara perhitungan tulangan pada tangga adalah sama seperti perhitungan tulangan pada pelat satu arah dengan menganggap lebar = 1 meter.

● Contoh Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan penulangan tangga, diambil dari tumpuan titik nomor 6 (lihat gambar)

Data umum bahan :

- tebal pelat = 13 cm
- decking = 2 cm (SKSNI 91 psl 3.16.7.1)
- ϕ tulangan = 12
- mutu beton (f_c') = 24,61 Mpa
- mutu baja (f_y) = 320 Mpa
- ρ_{max} = 0,02718
- ρ_{min} = 0,004375
- b = 1000 mm
- d = 130 - 20 - 0,5 x 1,2 = 109,4 mm
- A_s min = 0,004375 x 1000 x 109,4
= 4,786 cm²

● Penulangan Lentur

a. Penulangan Memanjang.

Dari hasil analisa SAP90 diperoleh momen lentur maksimum positif pelat tanjakan :

$$M_u = 1981,51 \text{ kgm} = 1981,51 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{0,8} = \frac{1981,51 \times 10^4}{0,8} = 24768875 \text{ Nmm}$$

Kondisi regangan berimbang

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} d = \frac{600}{600 + 320} \times 109,4 = 71,35 \text{ mm}$$

$$x_{maks} = 0,75 x_b = 0,75 \times 71,35 = 53,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_{maks} &= 0,85 f_c' b \beta_1 x_{maks} \\ &= 0,85 \times 24,61 \times 1000 \times 0,85 \times 53,51 \\ &= 951446,59 \text{ N} \end{aligned}$$

Mn maks penulangan tunggal

$$\begin{aligned} &= C_{maks} \left(d - \frac{\beta_1 x_{maks}}{2} \right) \\ &= 951446,59 \left(109,4 - \frac{0,85 \times 53,51}{2} \right) \\ &= 82450696,46 \text{ Nmm} > M_n \text{ perlu} \end{aligned}$$

Tulangan tekan tidak diperlukan, tetapi tulangan tetap dipasang untuk pengendalian lendutan jangka panjang.

$$\text{Diambil : } \delta = A_s' / A_s = 0,4$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi b d^2} \\ &= \frac{(1 - 0,2) 24768875}{0,8 \times 1000 \times 109,4^2} = 1,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho - \rho' &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 24,61}{320} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,24}{0,8 \times 24,61}} \right) \\ &= 0,003997 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u' &= \delta M_u = 0,4 \times 1981,51 \times 10^4 \\ &= 7926040 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho' &= \frac{\delta M_u}{\phi f_y (d-d') b d} \\ &= \frac{7926040}{0,8 \times 320 \times (109,4-20) \times 1000 \times 109,4} \\ &= 0,003166 \\ \rho &= (\rho - \rho') + \rho' \\ &= 0,003997 + 0,003166 \\ &= 0,007163 > \rho_{min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka } A_{s\text{'perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,007163 \times 1000 \times 109,4 = 783,63 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 12 - 160$ ($A_s = 819,54 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}A_{s'\text{'perlu}} &= \delta \times A_s \\ &= 0,4 \times 819,54 = 327,82 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 12 - 320$ ($A_s = 466,29 \text{ mm}^2$)

Kontrol spasi maksimum (SKSNI pasal 3.16.6.5)

$$\begin{aligned}s_{\text{max}} &= 2 \times t \text{ atau } 500 \text{ mm} \\ &= 2 \times 13 = 26 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$s_{\text{terpasang}} = 32 \text{ cm} < s_{\text{max}} = 26 \text{ cm}$$

b. Penulangan Melintang

Tulangan penahan susut dan suhu dipasang ke arah melintang pada setiap lapis tulangan.

$$A_s \text{ susut} = 0,002 \times 1000 \times 109,4 = 218,80 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$ ($A_s = 471 \text{ mm}^2$)

Perhitungan kebutuhan tulangan untuk pelat bordes dilakukan dengan prosedur serupa diatas, dengan hasil :

Tulangan atas (As') \longrightarrow \emptyset 12 - 320

Tulangan bawah (As) \longrightarrow \emptyset 12 - 160

Tulangan susut \longrightarrow \emptyset 10 - 200

• Penulangan Geser

- Vu = - 2003,92 kg

- Nu = 344,28 kg (tarik)

Sumbangan kekuatan Geser Beton (Vc) menurut SKSNI '91

$$V_c = \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \frac{1}{6} \sqrt{f_{c'}} b_w d$$

dimana :

- besaran Nu / Ag dalam Mpa

- nilai Nu adalah positif untuk aksial tekan dan negatif untuk aksial tarik

$$\emptyset V_c = \emptyset \frac{1}{6} \sqrt{f_{c'}} b_w d \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right]$$

$$= 0,6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{24,61} \times 1000 \times 109,4 \left[1 - \frac{3442,8}{14 \times 819,54} \right]$$

$$= 37986,70 \text{ N} = 3798,67 \text{ kg}$$

Vu < \emptyset Vc \longrightarrow tidak perlu tulangan geser

Untuk seluruh elemen - elemen pada tangga didapatkan bahwa gaya geser yang terjadi adalah dibawah kekuatan geser

beton sehingga tidak diperlukan tulangan geser untuk menambah kekuatan.

Tulangan geser hanya dipasang praktis bersama - sama tulangan pembagi yang berupa tulangan arah melintang (tegak lurus tulangan memanjang) pada tepi atas dan bawah pelat tangga.

4.2 ANALISA DAN PERENCANAAN BALOK ANAK

Balok anak sebagai unsur sekunder bukan merupakan elemen yang menerima gaya lateral, tetapi lebih merupakan unsur yang mendukung beban gravitasi unsur lain yang berhubungan dengannya, misalnya tumpuan tangga, pelat lantai atau dinding. Beban yang diterima disalurkan kepada struktur utama. Selain berfungsi mendukung pelat, balok anak juga berfungsi sebagai pengaku pelat sehingga pelat lantai benar-benar horizontal dan kaku pada bidangnya. Keuntungan lain dari penggunaan balok anak adalah memperkecil syarat ketebalan pelat yang dibutuhkan sehingga lebih ekonomis.

Dalam perencanaan ini, balok dimodelkan sebagai balok yang terletak pada beberapa tumpuan dengan menganggap tumpuan tengah sebagai balok menerus dan tumpuan tepi sebagai jepit elastis. Sedangkan gaya-gaya dalamnya dihitung dengan Ikhtisar Momen dan Gaya Lintang pada PBI 71.

4.2.1 PRELIMINARY DESIGN ELEMEN BALOK ANAK

Dimensi balok anak pada waktu preliminary design disesuaikan dengan bentang dan beban yang dipikulnya. Sebagai pendekatan untuk preliminary design tersebut, SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 butir 1 menyatakan bahwa tinggi minimum (h) balok bila lendutan tidak dihitung adalah tidak kurang dari $L/16$, dimana L adalah panjang bentang dalam mm.

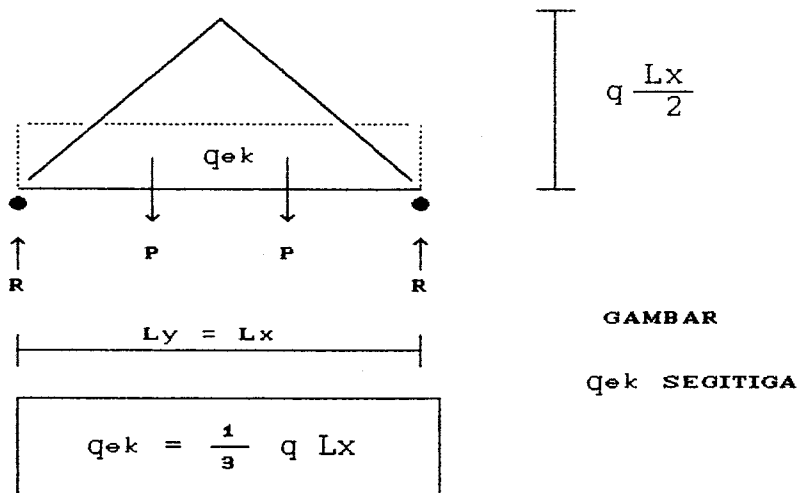
Dari konfigurasi struktur yang telah dibuat dan dengan rumus di atas, maka balok anak direncanakan 30/60.

4.2.2 TYPE - TYPE PEMBEBANAN

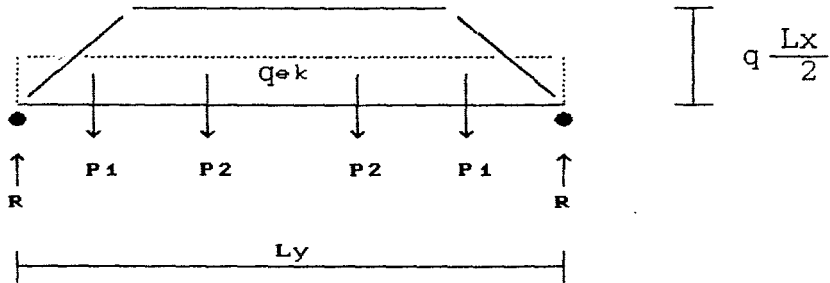
Beban-beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak tersebut dan semua beban merata pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata di atasnya). Distribusi bebannya didasarkan pada cara Tributary Area yaitu beban pelat dinyatakan dalam bentuk trapesium maupun segitiga. Beban-beban berbentuk trapesium maupun segitiga tersebut kemudian dirubah menjadi beban merata ekivalen dengan menyamakan momen maksimumnya.

Variasi pembebanan dan beban ekivalen yang terjadi pada perhitungan balok anak ini antara lain :

1. Beban ekivalen segitiga



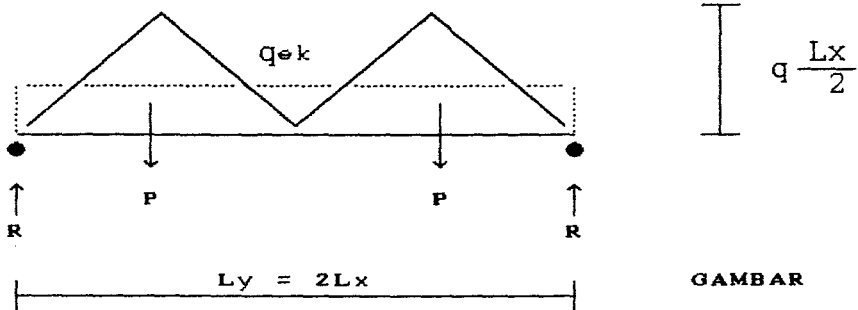
2. Beban ekivalen trapesium



$$q_{ek} = \frac{1}{2} q Lx \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right]$$

GAMBAR q_{ek} TRAPESIUM

3. Beban ekivalen dua segitiga



GAMBAR

q_{ek} DUA SEGITIGA

$$q_{ek} = \frac{1}{4} q Lx$$

Kombinasi pembebanan yang ditinjau untuk analisa balok anak sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 ayat 3.2.2 butir 1 yaitu

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL$$

● Perhitungan pembebanan pada balok anak

1. Balok lantai (30/60) as. 2 dan 4

- beban akibat pelat $q = 1760 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned} - q_{ek} &= 2 \times \frac{1}{2} q L_x \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right] \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 1760 \times 3,65 \times \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,65}{7,30} \right)^2 \right] \\ &= 5888,67 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- berat sendiri balok $= 0,3 \times 0,6 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \times 432 + 5888,67 \\ &= 6407,07 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Balok lantai (30/60) as. 3

- beban akibat pelat $q = 1760 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned} - q_{ek} &= 2 \times \frac{1}{2} q L_x \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right] \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 1760 \times 3,65 \times \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,65}{7,30} \right)^2 \right] \\ &= 5888,67 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- berat sendiri balok $= 0,3 \times 0,6 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$ - berat dinding $= 250 \times 3 = 750 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \times 1182 + 5888,67 \\ &= 7307,07 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

3. Balok lantai (30/60) as. 1' dan 4'

- beban akibat pelat $q = 1760 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned} - q_{ek} &= \frac{1}{2} q Lx \left[1 - \frac{1}{9} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \\ &= \frac{1}{2} \times 1760 \times 3,65 \times \left[1 - \frac{1}{9} \left(\frac{3,65}{7,30} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

$$= 2944,34 \text{ kg/m}$$

- berat sendiri balok $= 0,3 \times 0,6 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$

- berat dinding $= 250 \times 1,5 = 375 \text{ kg/m}$

$$Q_u = 1,2 \times 807 + 2944,34$$

$$= 3533,208 \text{ kg/m}$$

4.2.3 ANALISA STRUKTUR BALOK ANAK

Elemen-elemen balok anak ini pada pelaksanaannya dicor secara monolit dengan pelat yang didukungnya. Untuk itu agar pelaksanaannya lebih mudah maka pada daerah lapangan atau momen positif balok dapat dianggap sebagai balok T, sedangkan pada tumpuan dimana momen yang terjadi adalah negatif dianggap sebagai balok persegi.

Beberapa balok anak direncanakan karena adanya kebutuhan khusus dimana konstruksi pelat tidak dapat mendukung beban yang diberikan padanya, misalnya beban tumpuan tangga. Untuk menyalurkan beban tersebut pada struktur utama perlu diberikan balok anak.

4.2.4 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK ANAK

Pada perhitungan penulangan balok anak ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan penulangan yang dibutuhkan dan kekuatan balok tersebut berdasarkan penulangan yang telah diberikan. Penulangan balok ini terdiri dari penulangan lentur, penulangan geser, kontrol retak, dan kontrol lendutan, sedangkan tulangan torsi hanya dipasang minimum dengan anggapan bahwa balok anak tengah tidak menerima torsi.

4.2.4.1 PENULANGAN LENTUR

Penulangan lentur untuk momen negatif pada daerah tumpuan dihitung dengan menganggap penampang balok adalah penampang persegi, sedangkan perhitungan lentur pada daerah lapangan, apabila balok dicor monolit dengan pelat maka akan dipakai prosedur disain konstruksi balok T dengan penentuan lebar flens yang telah diatur pada SKSNI 91 pasal 3.1.10.

Perencanaan terhadap penampang yang dibebani lentur, sesuai dengan SK SNI 91 pasal 3.3.3. butir 1, harus memenuhi kompatibilitas tegangan dan gegangan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang terdapat dalam SKSNI 91 pasal 3.3.2 butir 1 sampai dengan butir 7, yaitu sebagai berikut :

1. Regangan dalam tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding langsung dengan jarak dari garis netral.

(pasal 3.3.2 butir 2)

2. Regangan maksimum yang dapat digunakan pada serat beton tekan terluar harus diasumsikan sebesar 0,003.
(pasal 3.3.2 butir 3)
3. Tegangan dalam tulangan di bawah kuat leleh yang ditentukan f_y untuk mutu tulangan yang digunakan harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja (ϵ_s). Untuk regangan yang lebih besar dari regangan yang memberikan f_y , tegangan dalam tulangan harus dianggap tidak tergantung pada regangan dan sama dengan f_y .
(pasal 3.3.2 butir 4)
 - bila $\epsilon_s \leq \epsilon_y$, maka :
$$f_s = E_s \epsilon_s \quad (E_s = 200000 \text{ MPa})$$
 - bila $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, maka :
$$f_s = f_y$$
4. Dalam perhitungan lentur beton bertulang, kuat tarik beton harus diabaikan (pasal 3.3.2 butir 5)
5. Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton boleh diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, parabola, atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik bila dibandingkan dengan hasil pengujian yang lebih menyeluruh (pasal 3.3.2 butir 6).
6. Ketentuan dari pasal 3.3.2 butir 6 boleh dianggap dipenuhi oleh suatu distribusi tegangan beton persegi ekuivalen yang didefinisikan sebagai berikut :

- Tegangan beton sebesar $0,85 f_c'$ harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
- Jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.
- Faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton f_c' hingga atau sama dengan 30 Mpa, sedangkan untuk kekuatan diatas 30 Mpa, β_1 harus direduksi secara menerus sebesar 0,008 untuk setiap kelebihan 1 Mpa diatas 30 Mpa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

$$\text{Untuk } f_c' \leq 30 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Untuk } f_c' > 30 \text{ MPa}$$

$$\longrightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \geq 0,65$$

Definisi regangan berimbang pada suatu penampang adalah suatu kondisi dimana tulangan tarik mencapai tegangan leleh yang disyaratkan (f_y) pada saat yang bersamaan dengan bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas sebesar 0,003.

Jika rasio tulangan beton terpasang lebih besar dari keadaan berimbang tersebut di atas, maka letak garis netral beton akan turun sehingga regangan beton di daerah tekan akan lebih besar dari regangan batas beton yang disyaratkan ($\epsilon_{cu} = 0,003$) pada keadaan tulangan tarik mencapai lelehnya. Jadi beton di daerah tekan akan hancur dulu sebelum tulangan tarik meleleh. Pola keruntuhan semacam ini sedapat mungkin harus dihindari karena pola keruntuhannya bersifat mendadak.

* Konstruksi Balok T

Bentuk balok T diperoleh dari pengecoran monolit antara balok dan pelat pada sisi atasnya, sehingga pada daerah momen positif balok, luas penampang pelat akan menambah luas daerah tekan pada balok sedangkan pada daerah momen negatif, balok tetap dianggap sebagai penampang persegi.

Perencanaan untuk balok T adalah seperti perencanaan balok berpenampang persegi dengan tulangan tunggal, hal ini mengingat bahwa luas daerah tekan beton pada balok T mendapat tambahan dari pelat di atasnya sehingga pemakaian tulangan teka dapat diabaikan.

Persyaratan balok T menurut SKSNI ps. 3.1.10 adalah :

1. Lebar pelat pelat yang secara efektif bekerja sebagai suatu flens dari balok T tidak boleh melebihi :
 - seperempat dari bentang balok.

Lebar efektif flens yang membentang pada tiap sisi badan balok yang bersebelahan tidak boleh melebihi :

- delapan kali tebal pelat, dan
- setengah jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan.

2. Untuk balok dengan pelat hanya pada satu sisi (Balok L)

lebar efektif flens yang membentang tidak boleh lebih dari :

- seperduabelas dari bentang balok,
- enam kali tebal pelat, dan
- setengah jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan.

Lebar efektif untuk 2 type balok yaitu balok T dan balok L (interior dan eksterior) yaitu :

1. Balok interior (pelat pada kedua belah sisi), dipilih nilai yang terkecil dari :

- a. $be \leq 1/4 L$
- b. $be \leq bw + 16 t$
- c. $be \leq bw + Ln$

2. Balok eksterior (Pelat hanya satu sisi), dipilih nilai yang terkecil dari :

- a. $be \leq bw + 1/12 L$
- b. $be \leq bw + 6 t$
- c. $be \leq bw + 1/2 Ln$

Untuk perhitungan kekuatan nominal dari balok T, maka harus dioeriksa dulu apakah balok T tersebut asli atau palsu, prosedurnya adalah sebagai berikut :

- Bila tinggi a dari blok tegangan persegi adalah sama atau lebih kecil dari t , maka balok T dihitung sama dengan balok empat persegi panjang (balok T palsu) dengan lebar b_e .
- Bila tinggi a lebih besar dari t , maka dihitung secara balok T murni dengan :

$$M_n = C_1 (d - a/2) + C_2 (d - t/2)$$

dimana :

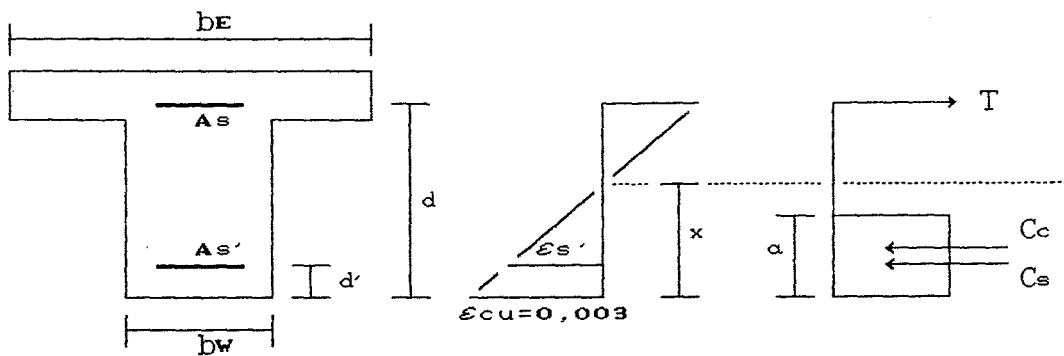
$$C_1 = 0,85 f_c' b_w a$$

$$C_2 = 0,85 f_c' (b_e - b_w) t$$

$$a = \frac{T - C_2}{0,85 f_c' b_w}$$

$$T = A_s f_y$$

Gambar Penampang di Daerah Tumpuan



Gambar Penampang Balok T

* Langkah - langkah perhitungan balok anak

1. Tentukan dimensi balok meliputi :

- lebar balok (b)
- tinggi balok (h)
- penutup beton (dc)

2. Hitung momen yang terjadi pada balok (dari analisa SAP90)

3. Hitung R_n dengan rumus :

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2}$$

4. Hitung ρ yang dibutuhkan dengan rumus :

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f_c'}} \right]$$

5. Cek ρ yang diperoleh dengan ρ_{mak} dan ρ_{min}

6. Cek nilai a terhadap tebal pelat (t) pada daerah lapangan.

- apabila $a < t$, maka prosedur perhitungan diatas sudah benar yaitu sebagai T palsu.
- apabila nilai $a > t$, maka harus dihitung dengan perhitungan untuk balok T murni.

● Contoh Perhitungan

Sebagai contoh untuk perhitungan penulangan lentur dan penulangan geser torsi digunakan balok anak 1 (BA-1) lantai parkir level 1.

- tinggi balok (h) = 60 cm
- lebar balok (b) = 30 cm
- bentang (L_u) = 800 cm
- beton deking = 4 cm
- tulangan utama = D-25
- sengkang = \emptyset 10
- mutu beton (f_c) = 24,61 MPa
- mutu baja (f_y) = 320 MPa
- ρ max = 0,0276
- ρ min = 0,004375

Hasil perhitungan Momen dan Gaya Lintang (PBI 71)

- M_u tumpuan = - 29,24 ton meter
- M_u lapangan = + 29,24 ton meter
- V_u tumpuan = 23,71 ton
- V_u lapangan = 0

Perhitungan Penulangan Balok Anak (BA1)

a. Pada Tumpuan

$$M_u = 2,92E8 \text{ Nmm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 0,5 \times 25$$

$$= 537,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2,92E8}{0,8 \times 300 \times 537,5^2} = 4,217$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{320}{0,85 \times 24,61} = 15,30$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,30} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,30 \times 4,21}{320}} \right) \\ &= 0,01487 > \rho_{\text{min}} = 0,004375 \end{aligned}$$

$$\text{ambil } \rho = 0,01487$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,01487 \times 300 \times 537,5 = 2397,70 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan 5 D 25 ($A_s \text{ ada} = 2455 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan ini nantinya akan ditambah dengan luas tulangan memanjang akibat torsi.

a. Pada Lapangan

$$M_u = 2,92E8 \text{ Nmm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 0,5 \times 25$$

$$= 537,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2,92E8}{0,8 \times 2000 \times 537,5^2} = 0,633$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{320}{0,85 \times 24,61} = 15,30$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,30} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,30 \times 0,633}{320}} \right) \\ &= 0,00201 \end{aligned}$$

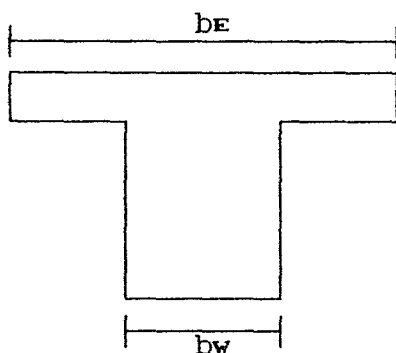
ambil $\rho = 0,00201$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00201 \times 2000 \times 537,5 = 2158,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pakai tulangan 5 D 25 ($A_s \text{ ada} = 2455 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan ini nantinya akan ditambah dengan luas tulangan memanjang akibat torsi.

Kontrol balok T



- $b_E = L/4$
 $= 800/4 = 200 \text{ cm}$
 - $b_E = b_w + 16t$
 $= 30 + 16 \times 13 = 238 \text{ cm}$
 - $b_E = l_n$
 $= 360 \text{ cm}$
- diambil terkecil = 200 cm

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_{c'} b_w} = \frac{2455 \times 320}{0,85 \times 24,61 \times 2000} \\ &= 18,78 \text{ mm} < t = 130 \text{ mm} \longrightarrow \text{balok T palsu} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk hasil perhitungan penulangan lentur balok anak yang lain dapat dilihat pada lampiran.

4.2.4.2 PENULANGAN GESER DAN TORSI

Desain pada suatu penampang beton yang menerima geser harus didasarkan pada :

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots (\text{SKSNI psl 3.4.1.1})$$

dimana :

- V_u merupakan gaya geser berfaktor akibat beban luar yang ditinjau pada penampang, dan
- V_n merupakan kuat geser nominal suatu komponen struktur yang didapat dari sumbangan kekuatan beton (V_c) dan kekuatan tulangan geser (V_s) : $V_n = V_c + V_s$

Besarnya V_c bervariasi tergantung dari beban yang bekerja pada struktur.

► Sumbangan Kekuatan Geser Beton (V_c)

- Untuk struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja, berlaku rumus :

$$V_c = 1/6 \sqrt{f_c'} b_w d \dots\dots(\text{SKSNI psl 3.4.3-1.1})$$

- Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial :

$$V_c = \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] 1/6 \sqrt{f_c'} b_w d$$

$\dots\dots(\text{SKSNI psl 3.4.3-1.2})$

besaran N_u/A_g dalam Mpa

- Untuk komponen struktur yang dibebani gaya tarik aksial yang cukup besar :

$$V_c = 0 (\text{Nol})$$

► Kriteria Design Geser dan Lentur saja

Kategori design kekuatan geser dan lentur saja menurut SKSNI 91 adalah sebagai berikut :

- Daerah 1 : $V_u < 1/2 \phi V_c$ maka tulangan geser tidak diperlukan dan hanya dipasang praktis
- Daerah 2 : $1/2 \phi V_c < V_u < \phi V_c$, maka hanya dipasang tulangan geser minimum saja.

$$A_v = \frac{b_v \cdot s}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots (\text{SKSNI ps1 3.4.5.5.3})$$

$$\text{dan } s_{\max} \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \dots (\text{SKSNI ps1 3.4.5.4.1})$$

- Daerah 3 : $\phi V_c < V_u \leq \phi V_c + \phi V_{s.\min}$, dimana :
 $\phi V_{s.\min} = \phi \frac{1}{3} b_v d$, dan persyaratan tulangan geser seperti persyaratan pada daerah 2.

- Daerah 4 :

$$\left[\phi V_c + \phi V_{s.\min} \right] < V_u \leq \left[\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_v d \right]$$

$$\text{pasang tulangan } \phi A_v = \frac{\phi V_s s}{f_y d} \text{ dimana } \phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$\text{dan } s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

- Daerah 5 :

$$\left[\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_v d \right] < V_u \leq \left[\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_v d \right]$$

$$\text{pasang tulangan } \phi A_v = \frac{\phi V_s s}{f_y d}$$

$$\text{dimana } \phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$\text{dan } s \leq \frac{d}{4} \leq 300 \text{ mm}$$

► Tulangan torsi Minimum

Pada perencanaan balok anak ini, torsi relatif kecil sehingga tulangan torsi hanya dipasang minimum dengan :

Tulangan Melintang

$$A_v + 2 A_t = \frac{b_w s}{3 f_y} \quad \text{SKSNI '91 ps1 3.4.5.5)}$$

A_v harus dianggap sama dengan 0 (nol) karena tulangan geser dihitung secara tersendiri, sehingga rumus di atas menjadi :

$$2 A_t = \frac{b_w s}{3 f_y}$$

dimana A_t merupakan luas satu kaki sengkang tertutup dalam daerah sejarak s yang menahan torsi.

Tulangan melintang ini dapat diabaikan bila perhitungan luas tulangan geser lebih besar atau sama dengan luas tulangan geser minimum.

Tulangan Memanjang (Longitudinal)

$$A_l = 2 \frac{A_t}{s} (x_1 + y_1) \quad \text{SKSNI '91 ps1 3.4.6.9)}$$

Dengan mensubstitusikan $2A_t = b_w s / 3 f_y$ ke dalam persamaan di atas maka didapat :

$$A_l = \frac{b_w}{3 f_y} (x_1 + y_1)$$

dimana :

- x_1 = jarak pusat ke pusat terpendek dari suatu sengkang tertutup
- y_1 = jarak pusat ke pusat terpanjang dari suatu sengkang tertutup

Tulangan longitudinal ini dikombinasikan dengan tulangan memanjang lainnya.

► Contoh perhitungan

Sebagai contoh perhitungan penulangan geser dan torsi diambil balok anak 1 (BA-1) pada daerah tumpuan sebagai kelanjutan perhitungan penulangan lentur sebelumnya :

★ **Penulangan Geser**

- V_u tumpuan = 237100 N
- Tulangan geser = ϕ 10
- A_v ada = $2 \times 1/4 \pi 10^2 = 157 \text{ mm}^2$

$$x = \frac{bw}{2} + d = \frac{600}{2} + 537,5 = 837,5$$

$$V_u = V_u \text{ tump.} \left(1 - \frac{x}{L_n/2} \right)$$

$$= 237100 \left(1 - \frac{837,5}{8000/2} \right) = 187457,19 \text{ N}$$

Pada tengah bentang

$$V = \frac{1}{8} \times 237100 \times 8 = 29637,5 \text{ N}$$

Sumbangan Kekuatan Geser Beton

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{24,61} \times 300 \times 537,5 \\ &= 79993,65 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_u > \phi V_c \longrightarrow \text{Butuh Tulangan Geser}$$

Gaya Geser yang harus diterima oleh tulangan Geser

$$\begin{aligned}\phi V_s \text{ perlu} &= V_u - \phi V_c = 187457,19 - 79993,65 \\ &= 107463,54 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_s \text{ min} &= \phi \frac{1}{3} b_w d = 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 537,5 \\ &= 32250 \text{ N}\end{aligned}$$

Masuk kategori 3

$$\begin{aligned}\phi V_c + \phi V_s \text{ min} &\leq V_u \leq \phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_w d \\ (79993,65 + 32250 &\leq 187457,19 \leq (79993,65 + 159987,3)) \\ 112243,65 &\leq 187457,19 \leq 239980,95\end{aligned}$$

Jarak dari as tumpuan ke titik dimana tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}\text{diperlukan } V &= \phi V_c + \phi V_s \text{ min} \\ &= 79993,65 + 32250 = 112243,65 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{adalah sejarak} &= (1 - V/V_u) L/2 \\ &= (1 - 112243,65/237100) 8000/2 \\ &= 2106,39 \text{ mm (dari as tumpuan)}\end{aligned}$$

$$s = \frac{\phi A_v f_y d}{\phi V_s} = \frac{0,6 \times 157 \times 320 \times 537,5}{107463,54}$$

$$= 150,77 \text{ mm}$$

$$150,77 < s \text{ maks} = 537,5/2 < 600 \quad \text{pakai } \phi \text{ 10-100}$$

Kontrol

$$\phi A_v = \frac{s \phi V_s}{f_y d} = \frac{100 \times 107463,54}{320 \times 537,5} = 62,48$$

$$A_{v\text{perlu}} = \frac{62,48}{\phi} = \frac{62,48}{0,6} = 104,13$$

$$A_{v\text{perlu}} < A_v \text{ ada} = 157 \text{ mm}^2$$

Penulangan geser dihentikan pada daerah 1 dalam kategori desain, yaitu apabila gaya geser pada titik tersebut telah mencapai ,

$$\text{diperlukan } V = 0,5 \phi V_c$$

$$= 0,5 \times 79993,65 = 39996,825 \text{ N}$$

$$\text{adalah sejarak} = (1 - V/V_{ut}) L/2$$

$$= (1 - 39996,825/237100) 8000/2$$

$$= 3325,23 \text{ mm}$$

$$s = \frac{3 A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{300}$$

$$= 502,4 \text{ mm}$$

$$502,4 < s \text{ maks} = 535,7/2 < 600 \quad \text{pakai } s = 200 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan ϕ 10-200

★ Penulangan Torsi Minimum

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w s}{3 f_y} = \frac{300 \times 200}{3 \times 320} = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ ada} = 157 \text{ mm}^2 > 62,5 \text{ mm}^2 \longrightarrow \text{Tulangan Melintang}$$

Torsi dapat diabaikan !

Tulangan Memanjang (Longitudinal)

$$x_1 = 300 - 2 \times 40 - 10 = 210 \text{ mm}$$

$$y_1 = 600 - 2 \times 40 - 10 = 510 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{b_w}{3 f_y} (x_1 + y_1) \\ &= \frac{300}{3 \times 320} (210 + 510) \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Longitudinal ini disebarkan pada ketiga bagian penampang balok yaitu pada tulangan atas, tulangan tengah, dan tulangan bawah dan ditambahkan pada tulangan akibat lentur.

Masing-masing sisi dipasang :

$$\begin{aligned} 1/4 A_l &= 225/4 \\ &= 56,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Design Akhir Balok Anak

● Daerah Lapangan

- Tulangan Bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ total} &= A_s \text{ lentur} + A_l \\ &= 2173,70 + 56,25 = 2229,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang Tulangan 5 D25 ($A_s \text{ ada} = 2453,12 \text{ mm}^2$)

● Daerah Tumpuan Kiri = Tumpuan Kanan

- Tulangan Atas

As perlu = As lentur + A1

$$= 2402,62 + 56,25 = 2458,87 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan 5 D 25 (As ada = 2453,12 mm²)

Tulangan tengah

$$\text{As perlu} = 2 \times 1/4 \times A1 = 112,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan Praktis Ø 12 Tiap Sisi (As ada = 113 mm²)

Untuk penulangan geser dan torsi balok anak lainnya dapat dilihat pada lampiran.

4.2.5 KONTROL LENDUTAN

Tabel 3.2.5(a) SKSNI '91 menyajikan batasan-batasan tebal balok minimum dengan berbagai kondisi perletakan , dimana bila tebal balok lebih besar dari pada tebal minimum seperti yang disyaratkan tersebut , maka lendutan tidak perlu dihitung.

Syarat tebal minimum untuk balok atau pelat satu arah menurut SKSNI '91 Tabel 3.2.5.(a) adalah sbb :

a. Balok di atas dua tumpuan :

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{Lu}{16} \left[0,4 + \frac{fy}{700} \right] && fy \text{ dalam Mpa} \\ &= \frac{Lu}{16} \times 0,857 \end{aligned}$$

b. Balok dengan satu ujung menerus :

$$h_{min} = \frac{Lu}{18,5} \left[0,4 + \frac{f_y}{700} \right] \quad f_y \text{ dalam Mpa}$$

$$= \frac{Lu}{18,5} \times 0,857$$

c Balok dengan ujung menerus dikedua tepinya :

$$h_{min} = \frac{Lu}{21} \left[0,4 + \frac{f_y}{700} \right] \quad f_y \text{ dalam Mpa}$$

$$= \frac{Lu}{21} \times 0,857$$

Dari preliminary design untuk balok anak, tinggi balok (h) diambil sekitar 1/10 sampai 1/14 Lu, sehingga praktis lendutan tidak perlu dihitung karena tinggi balok yang ada lebih besar dari tinggi minimum balok sebagai syarat kontrol lendutan.

4.2.6 KONTROL RETAK

Bila tegangan leleh rancang f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen negatif dan positif maksimum harus diproporsikan sedemikian sehingga nilai z yang diberikan oleh :

$$z = f_s \sqrt[3]{dc A} \quad (\text{SKSNI ps1 3.3.6})$$

tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana f_s boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh yang disyaratkan ($f_s = 0,6 f_y$).

* Balok dalam ruangan

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

dimana :

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \times 320 = 192 \text{ MPa}$$

$$d_c = 40 + 10 + 25/2 + 25 + 25/2 = 100 \text{ mm}$$

$$A = 2 d_c b_w / \text{jumlah tulangan}$$

$$= 2 \times 100 \times 300 / 5 = 12000 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} = 192 \sqrt[3]{100 \times 12000}$$

$$= 20,40 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \quad (\text{Ok})$$

Jadi Retak pada beton tidak perlu diperiksa.

4.1.7 PANJANG PENYALURAN

Penulangan memanjang dan penulangan geser sepanjang balok tidak akan berfungsi jika tidak terjadi kerjasama antara baja tulangan dan beton. Tulangan dapat dianggap berperan dalam suatu struktur beton bertulang jika terjadi aksi lekatan antara baja tulangan dan beton di sekelilingnya.

Lekatan antara baja tulangan dan beton ini harus cukup untuk mengembangkan kapasitas tarik atau kapasitas tekan dari baja tulangan hingga mencapai tegangan lelehnya tanpa terjadinya slip. Apabila terjadi slip di bawah beban kerja, maka keruntuhan struktur dapat terjadi.

Untuk menjamin bahwa tidak akan terjadi slip antara beton dan baja tulangan, maka dibutuhkan suatu panjang penanaman tertentu yang dikenal dengan nama panjang penyaluran.

Syarat-syarat tentang panjang penyaluran dan penyambungan tulangan diatur dalam SKSNI '91 pasal 3.5.

a. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Panjang penyaluran dasar tulangan tarik untuk Baja Tulangan Deform D25 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} l_{db} &= 0,02 A_b f_y / \sqrt{f_c'} \quad (\text{SKSNI psl 3.5.2.2}) \\ &= 0,02 \times 491 \times 320 / \sqrt{24,61} = 633,44 \end{aligned}$$

Karena dipakai tulangan Baja Deform D25 maka harus dikalikan dengan faktor yang sesuai dengan SKSNI psl 3.5.2.3

$$\begin{aligned} l_{db} &= 633,44 \times \frac{A_{sperlu}}{A_{sada}} \times 1,4 \\ &= 633,44 \times \frac{2458,87}{2453,12} \times 1,4 = 888,89 \end{aligned}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} l_{db} &= 0,06 d_b f_y \\ &= 0,06 \times 25 \times 320 \\ &= 480 \text{ mm} \end{aligned}$$

Akibat top bar effect (tulangan atas) :

$$l_d = 1,4 \times l_{db} = 1,4 \times 888,89 = 1244,45 \text{ mm}$$

b. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Panjang penyaluran dasar untuk tulangan D.25 adalah :

$$\begin{aligned}
 l_{db} &= \frac{db \cdot f_y}{4 \sqrt{f_c'}} & (\text{SKSNI ps1 3.5.3.2}) \\
 &= \frac{25 \times 320}{4 \sqrt{24,61}} = 403,16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena tulangan yang dipakai D.25 maka harus dikalikan dengan faktor yang sesuai dengan SKSNI ps1 3.5.3.3

$$\begin{aligned}
 l_{db} &= 403,16 \times \frac{A_{spertu}}{A_{sada}} \\
 &= 403,16 \times \frac{2458,87}{2453,12} = 404,10
 \end{aligned}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}
 l_{db} &= 0,04 \cdot db \cdot f_y \\
 &= 0,04 \times 25 \times 320 = 320 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. Panjang Penyaluran Kait Standar Dalam Tarik

Panjang penyaluran dasar kait standar (hook) dari tulangan D.25 adalah :

$$\begin{aligned}
 l_{hb} &= 100 \cdot db / \sqrt{f_c'} & (\text{SKSNI ps1 3.5.5.2}) \\
 l_{hb} &= 100 \times 25 / \sqrt{24,61} = 503,95
 \end{aligned}$$

Panjang penyaluran hook :

$$\begin{aligned}
 l_{dh} &= l_{hb} \left(\frac{f_y}{400} \right) \cdot (0,7) \\
 &= 503,95 \times \left(\frac{320}{400} \right) \times 0,7 = 282,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$l_{dh} = 8 \cdot db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

d. Panjang Penyaluran Dari Tulangan Momen Positif

Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur yang tertumpu pada dua tumpuan dan seperempat dari tulangan momen positif pada komponen struktur yang menerus harus diteruskan ke dalam tumpuan paling sedikit sepanjang : (SKSNI ps1 3.5.11)

$$- 150 \text{ mm}$$

$$- d = 537,5 \text{ mm (menentukan)}$$

$$- 12 \text{ db} = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$$

e. Panjang Penyaluran Dari Tulangan Momen Negatif

Sepertiga dari tulangan tarik pada momen negatif diteruskan pada jarak terbesar antara : (SKSNI ps1 3.5.12)

$$- d = 537,5 \text{ mm (menentukan)}$$

$$- 12 \text{ db} = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$$

$$- l_n / 16 = 7200 / 16 = 450 \text{ mm}$$

2.8 PENULANGAN BALOK MIRING

Sebagai penghubung antara lantai parkir yang ketinggiannya berbeda digunakan struktur balok - pelat dengan perletakan bagian bawah sendi dan bagian atas rol. Untuk perletakan rol maka dipakai konsol pendek pada kolom sedangkan untuk perletakan sendi dipakai tulangan miring. Adapun perhitungan tulangan miring adalah mengacu pada PBI 71 pasal 12.7 :

Tegangan geser batas yang bekerja pada tumpuan

$$\tau_{bu} = \frac{V_u}{b \times 0.9 \times h} = \frac{550 \text{ kg}}{60 \times 0.9 \times 72} = 14,15 \text{ kg/cm}^2$$

Dipakai tulangan miring 4 ϕ 12 \longrightarrow $A_m = 3,02 \text{ cm}^2$

$$a_m = 15 \text{ cm}$$

$$\tau_{mu} = \frac{A_m \times \sigma^*_{au} \times \sqrt{2}}{a_m \times b} = \frac{3,02 \times 3390 \times \sqrt{2}}{15 \times 60} = 16,08 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{mu} > \tau_{bu}$$

BAB V

ANALISA STRUKTUR UTAMA

Analisa struktur utama dari gedung ini meliputi, balok-balok induk dan kolom-kolom sebagai elemen utama dari gedung dimana struktur utama tersebut direncanakan untuk menerima beban gravitasi dan beban lateral akibat gempa. Balok anak beserta beban pelat yang dipikulnya dianggap hanya membebani balok induk berupa beban terpusat.

Gaya-gaya dalam dari struktur utama gedung ini akan dianalisa secara statis dan dinamis dengan bantuan software SAP 90. Segala sesuatu yang dibutuhkan oleh program SAP 90 tersebut seperti data satuan dan material, data pembebanan, dan data pemodelan struktur, akan diuraikan dalam sub bab - sub bab berikut ini.

5.1 DATA SATUAN DAN DATA MATERIAL

Seluruh satuan yang dipakai dalam analisa struktur utama ini adalah :

- dimensi gaya : kNm (kilo newton meter)
- dimensi panjang : m (meter)

Material yang dipakai dalam analisa struktur utama gedung ini adalah :

- Jenis bahan : Beton bertulang
- Berat volume : 2400 kg/m^3
- Mutu beton (f_c') : 29,18 Mpa
- Mutu tulangan (f_y) : 390 Mpa

5.2 PEMBEBANAN STRUKTUR UTAMA

5.2.1 Beban Mati

Untuk beban mati diperhitungkan dari seluruh beban akibat berat sendiri balok, kolom, dinding/panel, seluruh struktur sekunder dan semua elemen lain yang bersifat tetap sepanjang umur rencana gedung. Beban ini berupa beban terpusat atau beban merata yang diterima langsung oleh struktur utama maupun yang disalurkan melalui struktur sekunder.

5.2.2 Beban Hidup

Berbeda dengan beban mati yang bersifat tetap setiap waktu, beban hidup tidak selalu terjadi setiap saat. Peluang terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dari semua struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil. Oleh karena itu beban hidup tidak selalu dianggap efektif sepenuhnya.

Sesuai dengan peraturan PPI'83 untuk beban hidup dalam perhitungan balok induk dan portal diberikan reduksi sebagai berikut :

□ Pada perencanaan balok - balok induk dan portal dari sistem struktur utama, beban hidup terbagi rata dapat dikalikan dengan :

- 0.9 untuk gedung parkir dan ruang pertemuan

5.2.3 Beban Gempa

Pada perencanaan sistem struktur penahan beban lateral dari suatu struktur gedung, beban hidup gedung tersebut ikut menentukan besarnya beban gempa rencana yang harus dipikul oleh struktur. Seperti yang telah diuraikan diatas bahwa karena peluang terjadinya beban hidup yang kecil, maka untuk perencanaan beban gempa ini sesuai PPI'83 beban hidup dapat direduksi sebagai berikut :

- 0.3 untuk gedung parkir dan ruang pertemuan

Dalam Perencanaan ini beban rancang lateral dasar yang ditetapkan dalam peraturan gempa dikalikan dengan faktor k sebesar 2. Hal ini dilakukan karena struktur direncanakan untuk daktilitas 2.

5.2.4 Kombinasi Pembebanan.

Kombinasi pembebanan yang dipergunakan , didasarkan pada SK SNI 91 pasal 3.2 , yaitu :

1. Kuat perlu (U) yang menahan beban mati D dan beban hidup L paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,2 D + 1,6 L \quad (\text{SK SNI 91 psl 3.2-1})$$

2. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa (E) harus diperhitungkan dalam perancangan, maka nilai U diambil sebesar:

$$U = 1,05 (D + L_R + 2E) \quad (\text{SK SNI 91 psl 3.2-4a})$$

dimana

- L_R adalah beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan persyaratan PPTGIUG 83 tabel 3.3
- Beban gempa (E) diatas harus dikalikan dengan faktor jenis struktur (K) yang sesuai. Untuk tingkat daktilitas dua, nilai $K = 2$

5.3 PERMODELAN STRUKTUR

Struktur utama dari gedung ini dimodelkan sebagai portal terbuka (open frame) dengan perletakan jepit pada dasar kolom.

Lantai dimodelkan sebagai rigid floor diafragma, sehingga gaya lateral yang berasal dari beban gempa dapat disalurkan ke komponen struktur penahan lateral. Seluruh joint dalam satu bidang lantai dianggap tidak dapat bergerak relatif satu terhadap lainnya, tetapi displacement dari joint-joint tersebut tergantung dari displacement dari master joint. lokasi master joint ini diletakkan pada pusat massa suatu taraf lantai.

5.4 INPUT DATA SAP 90

Berikut ini akan dijelaskan secara singkat mengenai input data struktur utama yang dibuat berdasarkan buku petunjuk (manual) dan contoh-contoh SAP 90 yang berhubungan dengan analisa struktur ini.

a. TITLE LINE

Berisi satu baris kalimat maksimal 70 karakter sebagai identifikasi dari input data SAP 90.

b. SYSTEM Data Block

Blok data ini menjelaskan tentang control informasi yang berhubungan dengan struktur yang akan dianalisa.

L : menyatakan jumlah Load Condition

PPTGIUG '83 bab 2.5.2.1 menyatakan bahwa untuk analisa ragam spektrum respon dari struktur-struktur gedung dengan bentuk yang tidak beraturan jumlah ragam yang ditinjau tidak kurang dari 5, tetapi sebagai pedoman ,jumlah ragam spektrum respons yang ditinjau tidak perlu lebih dari tingkatnya.

c. JOINTS Data Block

Memuat informasi tentang letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu global X , Y , Z. Pendefinisian joints ini bertujuan untuk membuat geometri dari struktur yang akan dianalisa. Joint data yang dipakai adalah sebagai berikut :

i $X = x$ $Y = y$ $Z = z$ $G = g_1, g_2, r$

dimana :

- x = arah X - ordiant global dari joint
- y = arah Y - ordiant global dari joint

- z = arah Z - ordiant global dari joint
- g₁ = linear generasi dari joint 1
- g₂ = linear generasi dari joint 2
- i = nomor joint
- r = rasio dari bagian terdahulu terhadap bagian pertama
untuk pembagian yang tidak sama

d. RESTRAINTS Data Block

Memuat informasi mengenai derajat kebebasan (DOF) tiap-tiap joints apakah dilepas (nilai 0) atau dikekang (nilai 1). Restraint yang dipakai adalah :

j₁ j₂ inc R = r₁,r₂,r₃,r₄,r₅,r₆

dimana :

- j₁ = nomor joint pertama
- j₂ = nomor joint terakhir
- inc = penambahan nomor joint
- r₁ = harga restrain untuk bertranslasi arah sumbu X
- r₂ = harga restrain untuk bertranslasi arah sumbu Y
- r₃ = harga restrain untuk bertranslasi arah sumbu Z
- r₄ = harga restrain untuk berotasi arah sumbu X
- r₅ = harga restrain untuk berotasi arah sumbu Y
- r₆ = harga restrain untuk berotasi arah sumbu Z

- Perletakan jepit R = 1,1,1,1,1,1
- Dependent joints R = 1,1,0,0,0,1
- Master joints R = 0,0,1,1,1,0

e. MASSES Data Block

Blok data ini mendefinisikan lokasi dan harga massa joint. Untuk itu perlu dihitung massa dan momen inertia (MMI) dari tiap - tiap lantai. Massa terdiri dari beban mati maupun beban hidup yang telah direkdusi.

Langkah - langkah perhitungan untuk mendapatkan massa, titik pusat massa adalah sebagai berikut :

- a. hitung massa total dari lantai yang meliputi massa pelat, balok kolom, tembok dan beban hidup.

$$M = \frac{W}{g}$$

dimana : W = berat tiap lantai

$$g = 0,981 \text{ m/det}^2$$

- b. Hitung letak titik pusat massa dengan cara mengambil suatu titik referensi, kemudian hitung statis momen terhadap titik referensi terebut. Statis Momen dibagi dengan massa tota dari lantai dan didapatkan letak pusat massa lantai.
- c. Hitung momen inertia massa (MMI) dari elemen - elemen lantai terhadap titik pusat massa dengan rumus :

$$MMi = \frac{M}{A} (I_x + I_y)$$

dimana : MMI = momen inertia massa

M = massa tiap lantai

A = luas tiap lantai

I_x = momen inertia terhadap sumbu x (m')

I_y = momen inertia terhadap sumbu y (m')

f. FRAME Data Block

Memuat informasi mengenai data-data dari elemen-elemen batang (frame) tiga dimensi pada struktur yang dianalisa meliputi lokasi, property, dan beban yang bekerja pada setiap elemen.

NM : Number of Material, menyatakan jumlah material yang digunakan dalam analisa struktur

NL : Number of Load identification, menyatakan jumlah macam beban yang ada pada struktur

Penulisan macam pembebanan dibedakan antara beban mati dan beban hidup yang nantinya akan dikombinasikan dalam blok data COMBO.

Beban-beban merata yang ada didapat dari beban ekuivalen.

g. LOADS Data Block

Memuat informasi mengenai beban-beban pada joints yang berasal dari beban terpusat balok anak.

h. SPEC Data Block

Blok data ini digunakan untuk mendefinisikan data yang berhubungan dengan analisa dinamis yaitu dengan memakai response spectrum. Data yang diperlukan antara lain :

- Sudut percepatan tanah dalam derajat (A)
- Faktor skala response spectrum (S), dalam panjang / waktu². Diambil $S = 9,81 \text{ m/det}^2$
- Structural damping ratio (D), diambil $D = 0,05$ (5%)
- Data response spectrum Zone 4 tanah lunak, diambil dari PPTGIUG 83 gambar 3.3

i. COMBO Data Block

Memuat informasi mengenai kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisa struktur utama, yang didasarkan pada SK SNI 91 pasal 3.2 :

1. 1,2 DL + 1,6 LL

(akibat beban mati dan beban hidup)

2. $1,05 (DL + L_R + 2 E)$

(akibat beban mati + hidup reduksi + gempa kiri)

3. $1,05 (DL + 0.5 LL - 2 E)$

(akibat beban mati + hidup reduksi + gempa kanan)

4. $1,05 \times 2 E$

(akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping kanan / gempa kiri)

5. $D + L_R$

(akibat beban mati + beban hidup reduksi)

6. $D + L + E$

(akibat beban mati + hidup + gempa)

Kombinasi pembebanan nomor 4 hanya diperlukan pada perhitungan kolom sebagai beban sideway (beban berfaktor yang dapat menyebabkan goyangan ke samping).

Input data struktur utama gedung parkir ini dapat dilihat pada lampiran.

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

6.1 PERENCANAAN BALOK INDUK

Sub bab ini membahas tentang perencanaan penulangan balok induk yang meliputi perencanaan penulangan lentur, penulangan geser - torsi dengan ketentuan tingkat daktilitas dua, kontrol lendutan, kontrol retak dan perhitungan panjang penyaluran.

6.1.1 PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK

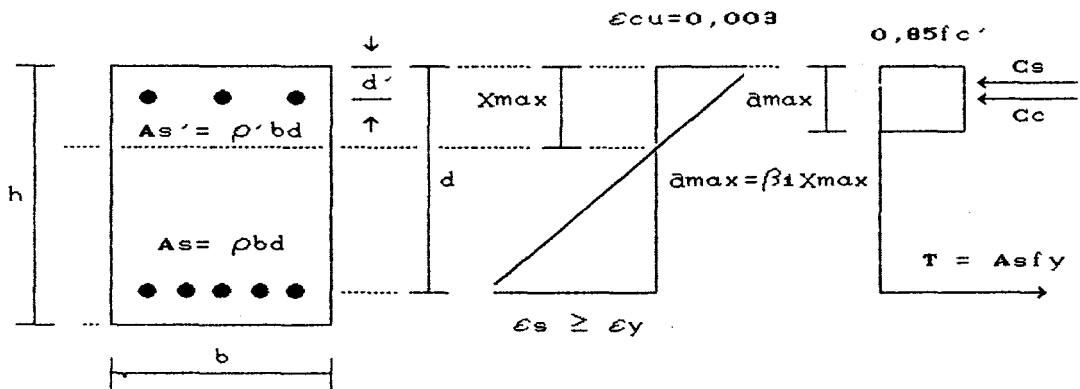
Prinsip perhitungan untuk penulangan balok adalah sama dengan penulangan lentur balok anak, hanya pada penulangan lentur balok induk, banyak dijumpai momen yang berbalik arah akibat beban gempa. Jadi momen pada tumpuan bisa berharga negatif (akibat beban gravitasi) maupun positif (akibat beban gempa yang cukup besar), sehingga penulangannya berdasarkan masing-masing arah momen yang terjadi.

Untuk kondisi pembebanan seperti ini, maka secara praktis perhitungan penulangan yang dipakai adalah tulangan tunggal. Tulangan tekan otomatis akan terpasang pada kondisi momen yang berbalik arah, sedangkan untuk momen tunggal, ada dua kondisi sistim penulangan :

1. Apabila $\rho_{perlu} < \rho_{max}$, maka tulangan tekan hanya dipasang praktis saja.

2. Apabila $\rho_{\text{perlu}} \geq \rho_{\text{max}}$, maka tulangan tekan dibutuhkan untuk menambah kekuatan.

Balok Persegi Dengan Tulangan Ganda



Gambar Penampang Persegi Dengan Tulangan Rangkap

- Langkah - langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Hitung d , d'

$$d = h - d_c - \phi \text{ sengkang} - \phi \text{ tul utama}/2$$

$$d' = d_c + \phi \text{ sengkang} + \phi \text{ tul utama}/2$$

2. Hitung R_n

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

3. Hitung ρ

$$\rho = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f_c'}} \right]$$

4. Cek terhadap ρ_{max}

bila $\rho \geq \rho_{max} \longrightarrow$ perlu tulangan tekan

5. Hitung x_b , x_{max} , a_{max}

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$x_{max} = 0,75 x_b$$

$$a_{max} = 0,85 x_{max}$$

6. Hitung $C_{c\ max}$, $M_{n\ max}$

$$C_{c\ max} = 0,85 f_c' a_{max} b$$

$$M_{n\ max} = C_{c\ max} (d - a_{max} / 2)$$

7. Hitung momen sisa yang harus dipikul oleh tulangan tekan

$$M_{ns} = M_{n\ perlu} - M_{n\ max}$$

8. Hitung gaya yang harus ditahan tulangan tekan akibat momen sisa tersebut

$$C_{s\ perlu} = \frac{M_{ns}}{d - d'}$$

9. Periksa keadaan tulangan tekan leleh

$$\epsilon_{s'} = \frac{x_{max} - d'}{x_{max}} 0,003 \geq \epsilon_y \longrightarrow \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

10. Hitung luas tulangan tekan dan tarik sesuai keadaan tulangan tekan di atas

a. Tulangan tekan leleh :

$$As' = \frac{Cs \text{ perlu}}{fy - 0,85 fc'}$$

$$As = \frac{Cc \text{ max}}{fy} + As'$$

b. Tulangan tekan belum leleh :

$$As' = \frac{Cs \text{ perlu}}{fs' - 0,85 fc'} \longrightarrow fs' = Es \epsilon_s'$$

$$As = \frac{Cc \text{ max}}{fy} + As' \frac{fs'}{fy}$$

Buku referensi yang digunakan adalah " Reinforced Concrete Design " oleh Charles J. Salmon dan Chu Kia Wang.

Contoh Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan penulangan lentur balok induk diambil balok BI 2-3 as B, lantai parkir level 4 :

- ukuran balok = 60 x 80 cm
- mutu beton (fc') = 29,18 MPa
- mutu baja (fy) = 390 MPa
- ρ_{max} = 0,02457
- ρ_{min} = 0,00359
- decking = 5 cm
- sengkang = Ø 12
- tulangan utama = D-32

● Penulangan pada tumpuan

$$- Mu - = 1038,77 \text{ kNm}$$

$$- Mu + = 853,56 \text{ kNm}$$

$$- b = 600 \text{ mm}$$

$$- d = 800 - 50 - 12 - 32/2 = 722 \text{ mm}$$

● Tulangan Atas (Momen Negatif)

diambil $\delta = 0,5$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) Mu}{\phi b d^2} = \frac{0,5 \times 1038,77 \text{E}6}{0,8 \times 600 \times 722^2} = 2,075$$

$$\begin{aligned} (\rho - \rho') &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,075}{0,85 f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 29,18}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,075}{0,85 \times 29,18}} \right) \\ &= 0,00587 \end{aligned}$$

Anggap tulangan tekan leleh

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta Mu}{\phi f_y (d - d') b d} \\ &= \frac{0,5 \times 1038,77 \text{E}6}{0,8 \times 390 \times (722 - 78) \times 600 \times 722} = 0,00586 \end{aligned}$$

$$\rho = (\rho - \rho') + \rho' = 0,01173$$

$$A_s = \rho b d = 0,01173 \times 600 \times 722 = 5081,436 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho' b d = 0,00586 \times 600 \times 722 = 2538,552 \text{ mm}^2$$

• Tulangan Bawah (Momen Positif)

diambil $\delta = 0,5$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi b d^2} = \frac{0,5 \times 853,56 \text{E}6}{0,8 \times 600 \times 722^2} = 1,706$$

$$\begin{aligned} (\rho - \rho') &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,706}{0,85 f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 29,18}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,706}{0,85 \times 29,18}} \right) \\ &= 0,00473 \end{aligned}$$

Anggap tulangan tekan leleh

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta M_u}{\phi f_y (d-d') b d} \\ &= \frac{0,5 \times 853,56 \text{E}6}{0,8 \times 390 \times (722-78) \times 600 \times 722} = 0,00472 \end{aligned}$$

$$\rho = (\rho - \rho') + \rho' = 0,00945$$

$$A_s = \rho b d = 0,00945 \times 600 \times 722 = 4093,740 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho' b d = 0,00472 \times 600 \times 722 = 2044,704 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan atas \longrightarrow 7 D-32 ($A_s = 5627 \text{ mm}^2$)

tulangan bawah \longrightarrow 6 D-32 ($A_s = 4823 \text{ mm}^2$)

Selanjutnya untuk penulangan lentur balok induk lainnya dapat dilihat pada lampiran tabel.

5.1.2 PENULANGAN GESER - TORSI BALOK INDUK

Penampang persegi yang mengalami kombinasi dari geser, lentur, dan torsi harus diperhitungkan terhadap model keruntuhan suatu komponen struktur oleh puntiran.

Pada perencanaan struktur dengan daktilitas dua, harus diperhatikan daerah ujung yang memiliki potensi menjadi sendi plastis. Dalam hal ini SK SNI T-15-1991-03 ayat 3.14.9 butir 3 memcantumkan batasan batasan sebagai berikut :

1. Sengkang tertutup harus dipasang dalam daerah sepanjang tinggi komponen struktur diukur dari muka komponen struktur pendukung ke arah tengah bentang pada kedua ujung dari komponen lentur.

2. Sengkang tertutup yang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm diukur dari sisi muka suatu komponen struktur pendukung. Spasi maksimum sengkang tersebut tidak boleh melebihi $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter batang sengkang, 30 mm dan $3 f_y A_s/bw$, dimana A_s = luas satu kaki tulangan transversal dalam mm^2 .
3. Di daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.

Selain hal diatas, karena balok induk ini dipengaruhi oleh unsur-unsur lain, maka struktur ini dihitung sebagai torsi kompabilitas. Menurut SK SNI T-15-1991-03 ayat 3.4.6 butir 3, momen torsi terfaktor maksimum T_u dapat dikurangi menjadi

$$\phi (\sqrt{f_c'}/3) (\Sigma x^2 y/3)$$

• Langkah - langkah perhitungan penulangan geser dan torsi

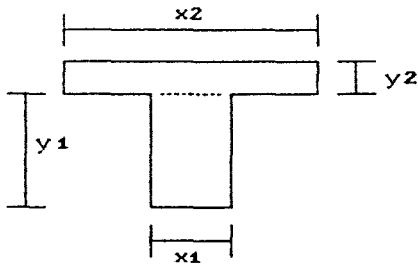
1. Hitung Batas Torsi (T_u) yang tidak memerlukan tulangan torsi

$$\text{Batas } T_u = \phi (\sqrt{f_c'} / 20 \Sigma x^2 y) \quad \text{SKSNI 3.4.6.1.}$$

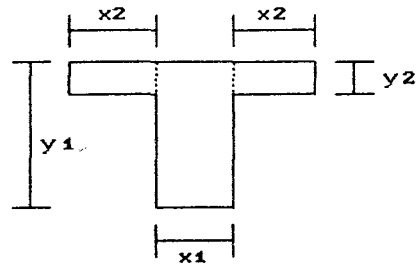
dimana :

$$\phi = 0,6$$

$$\Sigma x^2 y = \text{dipilih terbesar dari kedua keadaan berikut ini}$$



$$\Sigma x^2 y = x_1^2 y_1 + x_2^2 y_2$$



$$\Sigma x^2 y = x_1^2 y_1 + 2x_2^2 y_2$$

2. Hitung kuat nominal torsi yang mampu dipikul beton

$$\phi T_c = \frac{\phi \frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y}{\sqrt{1 + \left[\frac{0.4 V_u}{C_t T_u} \right]^2}} \left[1 + 0.3 \frac{N_u}{A_g} \right]$$

dimana : $C_t = \frac{b_w d}{\Sigma x^2 y}$

$N_u < 1 \rightarrow$ tarik

$N_u = 0 \rightarrow$ tekan

Jika $T_u < \phi T_c \rightarrow$ pakai tulangan torsi minimum !

Jika $T_u > \phi T_c \rightarrow$ hitung tulangan torsi !

Jika $T_u > 5 \phi T_c \rightarrow$ penampang harus diperbesar !

3. Hitung tulangan torsi yang dibutuhkan

$$\phi T_s = T_u - \phi T_c$$

4. Hitung tulangan transversal torsi

$$\frac{A_t}{s} = \frac{\phi T_s}{\phi \alpha_t x_1 y_1 f_y}$$

dimana :

$$x_1 = b - 2 \text{ (decking + 1/2 dia sengkang)}$$

$$y_1 = h - 2 \text{ (decking + 1/2 dia sengkang)}$$

$$\alpha_t = 1/3 \left(2 + \frac{y_1}{x_1} \right) \leq 1,5$$

$$A_t = \text{luas satu kaki sengkang}$$

5. Hitung kuat nominal geser yang mampu dipikul beton

$$\phi V_c = 1/2 \frac{\phi 1/6 \sqrt{f_c'} bw d}{\sqrt{1 + \left[2,5 C_t \frac{T_u}{V_u} \right]^2}} \left[1 + 0,3 \frac{N_u}{A_g} \right]$$

6. Hitung tulangan geser yang diperlukan

$$\frac{A_v}{s} = \frac{\phi V_s}{\phi f_y d} \longrightarrow \phi V_s = V_u - \phi V_c$$

7. Hitung tulangan total sengkang gabungan torsi dan geser

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{2 A_t}{s} \longrightarrow \min \frac{A_{vt}}{s} = \frac{bw}{3 f_y}$$

8. Kontrol spasi maksimum tulangan transversal total

$$s_{\max} = \frac{(x_1 + y_1)}{4} \leq 300 \text{ mm}$$

9. Hitung tulangan longitudinal yang diperlukan dan aturlah pemasangannya.

$$A_{l1} = 2 \frac{A_t}{s} (x_1 + y_1)$$

$$A_{l2} = \left[\frac{2,8 \times s}{f_y} \left[\frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3 C_t}} \right] - 2A_t \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

Al diambil yang terbesar dan tidak perlu melebihi :

Al diambil yang terbesar dan tidak perlu melebihi :

$$A_l = \left(\frac{2,8 \times s}{f_y} \left[\frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3 C_t}} \right] - \frac{b_w s}{3 f_y} \right) \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

Tulangan Al harus dipasang dengan jarak ≤ 30 cm. Karena tinggi balok induk 800 mm maka tulangan Al disebarakan pada 4 bagian yaitu : atas $1/4 h$, tengah $2/4 h$ dan bawah $1/4 h$ masing-masing sebesar $1/4 A_l$.

Contoh Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan penulangan geser dan torsi diambil balok induk lantai 6A no.elemen 642

- ukuran balok = 60 x 80 cm
- mutu beton (f_c') = 29,18 MPa
- mutu baja (f_y) = 320 MPa
- decking = 5 cm
- sengkang = D-12
- tulangan utama = D-32

Pada penampang kritis sejarak $d = 722$ mm dari muka (sisi) tumpuan didapatkan beban-beban berfaktor sebagai berikut :

- $V_u = 446,81$ kN
- $T_u = 1,40$ kNm

$$\Sigma x^2y = x_1^2y_1 + 2x_2^2y_2$$

$$= 600^2 \times 800 + 2 \times 39^2 \times 13 = 0,288 \text{ m}^3$$

$$\text{Batas Torsi min} = \phi \left(\frac{1}{20} \sqrt{f_c'} \right) \Sigma x^2y$$

$$= 0,6 \left(\frac{1}{20} \sqrt{29,18} \right) 2,88 \times 8$$

$$= 46,67 \text{ kNm} > Tu = 1,40 \text{ kNm}$$

jadi torsi diabaikan

Masuk dalam kondisi design zone 3 untuk kombinasi geser dan

torsi yaitu : a. $Tu < \phi \left(\frac{1}{20} \sqrt{f_c'} \right) \Sigma x^2y$

b. $Vu > \phi Vc$

Torsi dapat diabaikan dan hitung geser saja.

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} bw d = \frac{1}{6} \sqrt{29,18} \times 600 \times 722 = 390,01 \text{ kN}$$

$$\phi Vc = 0,6 \times 390,01 = 234,00 \text{ kN}$$

$$\phi Vs = Vu - \phi Vc = 446810 - 23400 = 423410,00 \text{ N}$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{\phi Vs}{\phi fy d} = \frac{423410}{0,6 \times 320 \times 722} = 3,0544 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan geser minimum :

$$\frac{Av}{s} \text{ min} = \frac{bw}{3 fy} = \frac{600}{3 \times 320} = 0,625 \text{ mm}^2/\text{mm} < 3,0544 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dipakai sengkang D-12 \longrightarrow Avt ada = luas empat kaki

$$= 4 \times 113,04 = 452,16 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang : $s = 452,16 / 3,0544 = 148,03 \text{ mm}$

Dipasang sengkang D12-150

Kontrol jarak sengkang maximum :

- a. $s_{\max} = d/4 = 722/4 = 180,5$ (menentukan)
- b. $s_{\max} = 10 D_b = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$
- c. $s_{\max} = 24 D_s = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- d. $s_{\max} = 3 f_y A_s/bw = 3 \times 390 \times 113,04/600 = 220,43 \text{ mm}$

$s_{\text{terpasang}} = 150 < s_{\max} = 180,5$

6.1.3. KONTROL LENDUTAN

Tinggi minimum balok yang disyaratkan bila lendutan tidak dihitung atau menurut tabel 3.2.5(a) SKSNI 91 :

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{L}{18,5} \left[0,4 + \frac{f_y}{700} \right] = \frac{8000}{18,50} \left[0,4 + \frac{390}{700} \right] \\ &= 413,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi balok adalah 800 mm, jadi balok mempunyai cukup kekakuan untuk membatasi lendutan yang mungkin terjadi. Dari preliminary design untuk balok, tinggi balok diambil sekitar $1/5$ sampai $1/12$ L, sehingga praktis lendutan tidak perlu dihitung karena tinggi balok yang ada lebih besar dari tinggi minimum balok sebagai syarat kontrol lendutan.

6.1.4 KONTROL RETAK

Bila tegangan leleh rancang f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen negatif dan positif maksimum harus diproporsikan sedemikian sehingga nilai z yang diberikan oleh :

$$z = f_s \sqrt[3]{dc A} \quad (\text{SKSNI 91 psl 3.3.6.4})$$

tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana f_s boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh yang disyaratkan ($f_s = 0,6 f_y$).

* *Balok dalam ruangan*

$$z = f_s \sqrt{dc A}$$

dimana :

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \times 390 = 243 \text{ MPa}$$

$$dc = 50 + 12 + 32/2 = 78 \text{ mm}$$

$$A = 2 dc bw / \text{jumlah tulangan}$$

$$= 2 \times 78 \times 600 / 8 = 11700 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \sqrt{dc A} = 243 \sqrt{78 \times 11700}$$

$$= 23,57 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m}$$

Jadi retak pada beton tidak perlu diperiksa.

6.1.5 PANJANG PENYALURAN

Penulangan memanjang dan penulangan geser sepanjang balok tidak akan berfungsi jika tidak terjadi kerjasama antara baja tulangan dan beton. Tulangan dapat dianggap berperan dalam suatu struktur beton bertulang jika terjadi aksi lekatan antara baja tulangan dan beton di sekelilingnya.

Lekatan antara baja tulangan dan beton ini harus cukup untuk mengembangkan kapasitas tarik atau kapasitas tekan dari baja tulangan hingga mencapai tegangan lelehnya tanpa terjadinya slip. Apabila terjadi slip di bawah beban kerja, maka keruntuhan struktur dapat terjadi.

Untuk menjamin bahwa tidak akan terjadi slip antara beton dan baja tulangan, maka dibutuhkan suatu panjang penanaman tertentu yang dikenal dengan nama panjang penyaluran.

Syarat-syarat tentang panjang penyaluran dan penyambungan tulangan diatur dalam SKSNI '91 pasal 3.5.

a. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Panjang penyaluran dasar tulangan tarik untuk Baja Tulangan Deform D32 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} l_{db} &= 0,02 A_b f_y / \sqrt{f_c'} && (\text{SKSNI psl 3.5.2.2}) \\ &= 0,02 \times 803,84 \times 390 / \sqrt{29,18} \\ &= 1160 \text{ mm} \approx 116 \text{ cm} \end{aligned}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}ldb &= 0,06 \text{ db } f_y \\&= 0,06 \times 32 \times 390 \\&= 748,8 \text{ mm} = 75 \text{ cm}\end{aligned}$$

Akibat top bar effect (tulangan atas) :

$$ld = 1,4 \times ldb = 1,4 \times 1160 = 1624 \text{ mm} \approx 162 \text{ cm}$$

b. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Panjang penyaluran dasar untuk tulangan D-32 adalah :

$$\begin{aligned}ldb &= \frac{db \text{ } f_y}{4 \sqrt{f_{c'}}} && (\text{SKSNI psl 3.5.3.2}) \\&= \frac{32 \times 390}{4 \sqrt{29,18}} = 577,58 \text{ mm} \approx 58 \text{ cm}\end{aligned}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}ldb &= 0,04 \text{ db } f_y \\&= 0,04 \times 32 \times 390 = 499,2 \text{ mm} = 50 \text{ cm}\end{aligned}$$

c. Panjang Penyaluran Kait Standar Dalam Tarik

Panjang penyaluran dasar kait standar (hook) dari tulangan D.32 adalah :

$$\begin{aligned}lhb &= 100 \text{ db } / \sqrt{f_{c'}} && (\text{SKSNI psl 3.5.5.2}) \\&= 100 \times 32 / \sqrt{29,18} = 592,39 \text{ mm} = 59 \text{ cm}\end{aligned}$$

Panjang penyaluran hook :

$$\begin{aligned} l_{dh} &= l_{hb} \left(\frac{f_y}{400} \right) \cdot (0,7) \\ &= 592,39 \times \left(\frac{390}{400} \right) \times 0,7 = 404,30 \text{ mm} = 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$l_{dh} = 8 d_b = 8 \times 32 = 256 \text{ mm} = 25,50 \text{ cm}$$

d. Panjang Penyaluran Dari Tulangan Momen Positif

Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur yang tertumpu pada dua tumpuan dan seperempat dari tulangan momen positif pada komponen struktur yang menerus harus diteruskan ke dalam tumpuan paling sedikit sepanjang : (SKSNI psl 3.5.11)

- 150 mm = 15 cm
- d = 722 mm \approx 72 cm (menentukan)
- 12 d_b = 12 x 32 = 384 mm = 38 cm

e. Panjang Penyaluran Dari Tulangan Momen Negatif

Sepertiga dari tulangan tarik pada momen negatif diteruskan pada jarak terbesar antara : (SKSNI psl 3.5.12)

- d = 722 mm \approx 72 cm (menentukan)
- 12 d_b = 12 x 32 = 384 mm = 38 cm
- $L_n/16 = 720/16 = 45 \text{ cm}$

TABEL KEPUTUSAN UNTUK KOMBINASI GESER DAN TORSI.

KONDISI DESAIN	REFERENSI SKSNI	TULANGAN PERLU
1. $T_u < \phi [(V f_c' / 20) \Sigma x^2 y]$ 2. $V_u < \phi V_c / 2$	3.4.6.1 3.4.5.5.1	Tulangan geser diabaikan
1. $T_u < \phi [(V f_c' / 20) \Sigma x^2 y]$ 2. $V_u > \phi V_c / 2$		Tulangan geser minimum $A_v = (b_w s) / (3 f_y)$
1. $T_u < \phi [(V f_c' / 20) \Sigma x^2 y]$ 2. $V_u > \phi V_c$	3.4.5.5.3 3.4.5.5.1	Hitung luas tulangan geser $A_v = [(V_u - \phi V_c) s] / (\phi f_y d)$
1. $T_u > \phi [(V f_c' / 20) \Sigma x^2 y]$ 2. $V_u < \phi V_c$	3.4.5.5.5 3.4.5.5.1	Tulangan torsi minimum $2 A_t = (b_w s) / (3 f_y)$
1. $T_u > \phi [(V f_c' / 20) \Sigma x^2 y]$ 2. $V_u > \phi V_c$	3.4.5.5.5 3.4.5.5.1	Kombinasi geser dan torsi minimum $A_v + 2 A_t = (b_w s) / (3 f_y)$
1. $T_u > \phi T_c$ 2. $T_u > 4 T_c$	3.4.6.9.1 3.4.6.9.4	Diperlukan tulangan torsi $A_t = [(T_u - \phi T_c) s] / (\phi f_y \alpha x_1 y_1)$ dan tulangan longitudinal A_l $A_l = \text{pers (3.4-24) dan pers (3.4-25)}$ Penampang harus diperbesar

6.2 PERENCANAAN KOLOM

Bab ini membahas perencanaan penulangan lentur kolom, pengecekan biaksial bending pada kolom dengan Bresler Reciprocal Method, penulangan geser kolom, dan perencanaan pertemuan balok dan kolom.

Buku referensi yang digunakan pada bab ini antara lain " Reinforced Concrete Design " oleh Chu Kia Wang dan Charles J. Salmon - edisi 4, SK-SNI T-15-1991-03, dan grafik bantu interaksi M - N non dimensi.

6.2.1 DASAR TEORI

Suatu komponen struktur yang menerima momen lentur dan aksial tekan secara serentak harus diperhitungkan sebagai beam column dengan mempertimbangkan pengaruh tekuk yang terjadi akibat kelangsingan komponen struktur tersebut.

Dengan adanya faktor tekuk akibat pengaruh kelangsingan ini, pada komponen struktur tekan dan lentur akan terjadi momen tambahan sebesar : $M_o = P \cdot \Delta$, sehingga untuk suatu komponen struktur tekan dan lentur langsing, momen-momen pada ujung kolom harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran yang akan diuraikan pada pasal-pasal di bawah ini.

6.2.1.1 Panjang Tekuk Kolom

Panjang tekuk kolom adalah panjang bersih kolom antara pelat lantai atau balok diujung-ujungnya yang dikalikan dengan suatu faktor tekuk (k) yang besarnya :

$k \geq 1$ untuk kolom tanpa pengaku samping (unbraced)

$k \leq 1$ untuk kolom dengan pengaku samping (braced)

Faktor tekuk (k) merupakan fungsi dari tingkat penjepitan ujung atas (μ_A) dan tingkat penjepitan ujung bawah (μ_B) dimana tingkat penjepitan ujung kolom tersebut dihitung dengan persamaan :

$$\mu = \frac{\sum EI / Lu \text{ kolom}}{\sum EI / Lu \text{ balok}}$$

dimana :

μ = Tingkat penjepitan ujung kolom

EI / Lu = Faktor kekakuan kolom atau balok yang ditinjau

Nilai dari faktor tekuk (k) dapat diperoleh dari nomogram atau grafik alignment dari Structural Stability Research Council Guide dengan memasukkan nilai - nilai μ_A dan μ_B kemudian menarik garis lurus yang melewati titik - titik μ_A dan μ_B tersebut sehingga didapat nilai k .

Grafik alignment ini dapat dilihat pada nomogram di lampiran.

6.2.1.2 Pembatasan Penulangan Kolom

SKSNI ps1 3.3.9-1 menyebutkan bahwa rasio penulangan kolom disyaratkan untuk tidak kurang dari 1 % tetapi tidak lebih dari 8 % dari luas bruto penampang kolom.

$$0,01 \leq \rho \leq 0,08$$

Pembatasan rasio tulangan minimum ini ditujukan untuk mencegah terjadinya retak akibat rangkak (creep) yang terjadi pada beton sedangkan pembatasan rasio tulangan maksimum didasarkan atas pertimbangan kesulitan pemasangan di lapangan.

Jumlah minimum batang tulangan memanjang kolom adalah 4 buah untuk kolom dengan sengkang pengikat segi empat dan 6 buah untuk kolom dengan pengikat spiral.

6.2.1.3 Kolom Pendek

Suatu unsur tekan pendek bila dibebani gaya aksial lebih besar dari kapasitasnya akan mengalami keruntuhan bahan (runtuhnya beton) sebelum mencapai ragam keruntuhan tekuknya. Oleh sebab itu untuk perencanaan struktur tekan pendek, bahaya akibat tekuk tidak perlu diperhitungkan.

Suatu komponen struktur tekan dikatakan pendek apabila perbandingan kelangsingan yaitu perbandingan panjang tekuk kolom ($k L_n$) terhadap radius girasi (r) :

$$\frac{k L_n}{r} < 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \quad M_{2b} > M_{1b}$$

dimana :

- nilai $\frac{M_{1b}}{M_{2b}} = 1$ (untuk unbraced frame)

- nilai r dapat diambil sebesar $\sqrt{I/A}$ atau :

0,3 h dalam arah momen yang ditinjau untuk kolom persegi, atau

0,25 d untuk kolom bulat (d = diameter kolom)

6.2.1.4 Kolom Panjang

Apabila nilai perbandingan kelangsingan untuk kolom pendek di atas tidak terpenuhi, maka suatu komponen struktur tekan boleh dikatakan kolom panjang.

Kolom dengan perbandingan kelangsingan besar akan menimbulkan lendutan ke samping (menekuk) akibat momen sekunder yang terjadi, sehingga mengurangi kekuatan nominal dari kolom panjang tersebut. Untuk itu dalam perhitungan kolom panjang diperlukan suatu faktor pembesaran momen yang harus diperhitungkan terhadap panjang tekuk kolom.

6.2.1.5 Faktor Pembesaran Momen Untuk Kolom Panjang

Di dalam peraturan ACI, perhitungan dari pengaruh kelangsingan dapat didekati dengan menggunakan cara pembesaran momen, dimana jumlah dari momen primer dan sekunder dikalikan dengan suatu faktor pembesaran δ .

SKSNI '91 ps1 3.3.11-5 menyebutkan bahwa apabila suatu kolom adalah kolom panjang, maka momen yang terjadi harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran menjadi :

$$M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s} \dots\dots\dots \text{SKSNI pers 3.3-6}$$

dimana :

- M_c = Momen rencana kolom setelah diperbesar
- M_{2b} = Momen berfaktor terbesar pada ujung kolom akibat beban gravitasi
- M_{2s} = Momen berfaktor terbesar pada ujung kolom akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping seperti beban gempa, dsb

$$- \delta_b = \frac{C_m}{1 - P_u / \phi P_c} \geq 1 \quad (\text{SKSNI pers 3.3-7})$$

$$- \delta_s = \frac{C_m}{1 - \sum P_u / \phi \sum P_c} \geq 1 \quad (\text{SKSNI pers 3.3-8})$$

$$- C_m = 0,6 + 0,4 M_{1b} / M_{2b} > 0,4 \quad (\text{SKSNI pers 3.3-12})$$

nilai M_{1b}/M_{2b} negatif untuk momen double curvature
untuk unbraced frame $\longrightarrow C_m = 1$

$$- P_c = \frac{\pi^2 E I}{(k L_n)^2} \quad (\text{SKSNI pers 3.3-9})$$

$$- EI = \frac{0,2 E_c I_g + E_s I_s}{1 + \beta_d} \quad (\text{SKSNI pers 3.3-10})$$

Menurut Furlong (Disain Beton Bertulang, Chu Kia Wang dan Charles G. Salmon), EI kolom dapat diambil $0,3 E_c I_g$, dan untuk balok dapat diambil $0,5 E_c I_g$.

- ϕ = Faktor reduksi kekuatan
= 0,65 (untuk komponen kolom dengan tulangan spiral
maupun sengkang ikat)

Dalam perencanaan gedung ini, kolom dirancang sebagai Unbraced Frame , karena tidak ada pengekangan goyangan ke samping struktur.

6.2.2 PENULANGAN LENTUR KOLOM

SK-SNI T-15-1991-03 ayat 3.3.3 butir 5 mengatur bahwa kekuatan kolom hanya boleh diperhitungkan sebesar $\phi P_n \leq 0,80 \phi P_o$ (kolom bersengkang), dimana :

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Adapun prosedur penulangan kolom secara garis besar dilakukan sebagai berikut :

1. Tentukan apakah kolom termasuk braced frame atau unbraced frame.
2. Tentukan apakah kolom termasuk kolom pendek atau kolom panjang. Seperti perumusan yang telah dikemukakan sebelumnya, bila termasuk kolom pendek maka tidak perlu dilakukan pembesaran momen, tetapi apabila kolom termasuk dalam jenis kolom panjang maka pembesaran kolom perlu dilakukan. Peninjauan kolom pendek dan panjang dilakukan pada dua arah sumbu global.

3. Momen yang diperoleh dari langkah sebelumnya kemudian dihitung momen ekivalennya di mana momen dua arah (biaxial) dijadikan satu arah ke arah yang kritis. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Mu_{ox} = M_{cx} + M_{cy} \left(\frac{h}{b} \right) \frac{(1-\beta)}{\beta} \quad \text{untuk} \quad \frac{M_{cy}}{M_{cx}} \leq \frac{b}{h}$$

$$Mu_{oy} = M_{cy} + M_{cx} \left(\frac{b}{h} \right) \frac{(1-\beta)}{\beta} \quad \text{untuk} \quad \frac{M_{cy}}{M_{cx}} \geq \frac{b}{h}$$

4. Dari harga diatas dipilih nilai yang terbesar untuk mendisain tulangan dengan bantuan diagram interaksi M-N non dimensi, dimana :

$$K_y = \frac{P_u}{A_g} \quad \text{untuk sumbu ordinat (y)}$$

$$K_x = \frac{Mu_{o \max}}{A_g h} \quad \text{untuk sumbu absis (x)}$$

Dengan diagram interaksi ini diperoleh rasio tulangan (ρ) perlu.

5. Menentukan jumlah tulangan sesuai dengan
 $A_s \text{ perlu} = \rho b d$

Diagram interaksi M - N ini dapat dilihat pada lampiran.

6.2.3 KONTROL DENGAN BRESLER RECIPROCAL METHOD

Bresler Reciprocal Method merupakan salah satu teori dalam pengecekan kolom yang mengalami momen dari dua arah (biaksial bending).

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Penulangan kolom dihitung dengan menggunakan momen satu arah yang terbesar (setelah diperbesar dengan faktor pembesaran momen).
2. Tulangan hasil perhitungan pada langkah 1 dicek terhadap biaksial bending dengan Bresler Reciprocal Method dengan memasukkan momen-momen terbesar pada kedua arah setelah diperbesar dengan faktor pembesaran momen (δ).

Kekuatan penampang tekan yang memperoleh gaya aksial dan momen lentur dalam dua arah sumbu utamanya (momen biaksial) dapat dirumuskan sbb :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o}$$

dimana :

- P_{nb} = kekuatan nominal kolom akibat momen dua arah
- P_{ox} = kekuatan nominal kolom arah x
- P_{oy} = kekuatan nominal kolom arah y
- P_o = kekuatan nominal kolom akibat beban aksial konsentris

$$= 0,8 \phi \left[0,85 f_c' (A_g - A_s) + A_s f_y \right]$$

..... SKSNI '91 pers 3.1-1

$$e_x = \frac{M_{cy}}{P_u} > e_{\min} = 0,1 h, \quad e_y = \frac{M_{cx}}{P_u} > e_{\min} = 0,1 h$$

Dengan harga e_x/h , e_y/h , dan ρ yang telah terpasang, maka nilai P_{ox} dan P_{oy} dapat dicari dengan diagram interaksi M - N (diagram 8.3) dengan rumus :

$$P_{ox} = K_x \frac{A_g}{0,65}$$

$$P_{oy} = K_y \frac{A_g}{0,65}$$

dimana : K_x dan K_y adalah konstanta yang didapat pada sumbu ordinat diagram interaksi M - N untuk P_{ox} dan P_{oy}

Nilai kekuatan tekan nominal biaksial (P_{nb}) harus lebih besar daripada beban aksial perlu (P_n) yang dihitung dengan momen satu arah saja.

6.2.4 PENULANGAN GESER TORSI KOLOM

Penulangan geser dan torsi pada kolom pada hakekatnya adalah sama dengan penulangan geser - torsi pada balok, hanya pada kolom daerah ujung-ujung kolom harus mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan beton bertulang yang tahan gempa (diatur pada PB '89 Appendiks A)

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan tulangan geser - torsi pada kolom adalah sebagai berikut :

- Rasio tinggi antar kolom terhadap dimensi terkecil kolom tidak boleh lebih besar dari 25.

- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup maupun sengkang majemuk.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh lebih dari $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter sengkang, dan 300 mm.
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Pada daerah ujung sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (ϕV_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam pasal 3.4 SKSNI '91.
- Pada komponen struktur kolom, torsi kompabilitas tidak boleh dipakai karena pada kolom tidak terjadi redistribusi gaya-gaya dalam kecuali untuk suatu komponen kolom khusus.

Selanjutnya untuk langkah-langkah perhitungan penulangan geser - torsi pada kolom dapat dilihat pada perencanaan balok induk.

● Contoh Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan diambil kolom lantai 1 no. 1132 dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Ukuran kolom = 80 x 80 cm
- Mutu beton = $f_c' = 29,18$ Mpa
- Mutu baja tulangan = $f_y = 390$ Mpa
- $\gamma = 0,8$
- $\phi = 0,65$
- $\rho = 3 \%$

Dari analisa SAP 90 didapat gaya-gaya dalam pada kolom sebagai berikut :

- $P_u = 8821,20$ kN
- $M_{2sx} = 1961,05$ kNm
- $M_{2sy} = 693,92$ kNm
- $M_{2bx} = 90,92$ kNm
- $M_{2by} = 28,07$ kNm

1. Kekakuan komponen struktur

$$E_c = 4700 \sqrt{29,18} = 25388,70 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_s = 3 \% \times 640000 \left[\frac{0,8 \times 800}{2} \right]^2 = 1,97E9 \text{ mm}^4$$

$$I_{gb} = \frac{1}{2} 600 \times 800^3 = 2,56E10 \text{ mm}^4$$

$$I_{gk} = \frac{1}{12} 800^4 = 3,4E10 \text{ mm}^4$$

$$EI_k = 0,2 E_c I_{gk} + E_s I_s$$

$$= 0,2 \times 25388,70 \times 3,4 \times 10^{10} + 200000 \times 1,97 \times 10^9$$

$$= 566643,16 \text{ kNm}^2 \quad (\text{menentukan})$$

$$EI_k = 0,4 E_c I_{gk}$$

$$= 0,4 \times 25388,70 \times 3,4 \times 10^{10} = 345286,32 \text{ kNm}^2$$

2. Perkiraan awal

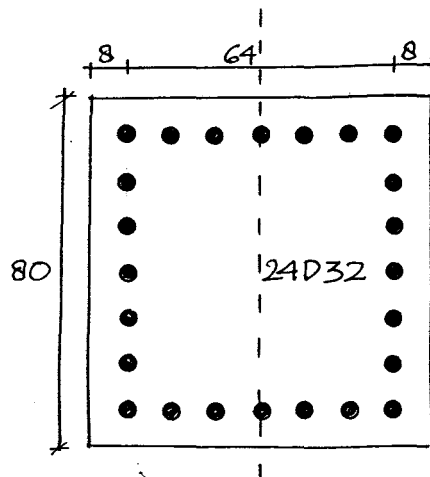
$$\text{Kolom } (80 \times 80) \text{ cm}^2$$

$$\text{Tulangan } 3\% (80 \times 80) = 192 \text{ cm}^2$$

$$192 \text{ cm}^2 \simeq 24 \text{ D32}$$

$$\simeq 24 \times 8,04 \text{ cm}^2$$

$$\simeq 192,96 \text{ cm}^2$$



Gambar Penampang Kolom dan Tulangannya.

3. Hitung kekakuan komponen struktur

$$E_c = 4700 \sqrt{29,18} = 25388,70 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{gk} = \frac{1}{12} 800^4 = 3,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_s = 2 \times 7 \times 8,04 \times 32^2 = 115261,44 \text{ cm}^4$$

$$2 \times 2 \times 8,04 \times 21,33^2 = 14631,80 \text{ cm}^4$$

$$2 \times 2 \times 8,04 \times 10,67^2 = 3661,38 \text{ cm}^4$$

$$\frac{115261,44 + 14631,80 + 3661,38}{133554,62 \text{ cm}^4} = 1,34 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_k = 0,2 \times 25388,70 \times 3,4 \times 10^{10} + 200000 \times 1,34 \times 10^9$$

$$= 440643,16 \text{ kNm}^2 \quad (\text{menentukan})$$

$$EI_k = 0,4 E_c I_{gk}$$

$$= 0,4 \times 25388,70 \times 3,4 \times 10^{10} = 345286,32 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kekakuan kolom} = \frac{440643,16}{1,5} = 293762,11$$

$$I_{gb} = \frac{1}{12} 600 \times 800^3 = 2,56 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = \frac{1}{2} I_{gb} = 1,28 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$EI_b = E_c I_{cr} = 25388,70 \times 1,28 \times 10^{10} = 324975,36 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kekakuan balok} = \frac{324975,36}{1,5} = 216650,24$$

4. Kontrol kelangsingan (kolom interior)

Dalam perencanaan ini, kolom dianggap sebagai kolom tanpa pengaku samping (unbraced frame).

$$\text{- faktor jepitan atas} \quad \mu_A = \frac{\sum EI / L_u \text{ kolom}}{\sum EI / L_u \text{ balok atas}}$$

$$= \frac{2 \times 293762,11/3,6}{2 \times 216650,24/8}$$

$$= 3,01$$

- faktor jepitan bawah $\mu_B = 1$ (Pondasi Jepit)

lihat diagram nomogram untuk portal tanpa pengaku (unbraced)

- faktor tekuk $k = 1,55$

- rasio kelangsingan $\frac{k l_u}{r} = \frac{1,55 \times 2,8}{0,3 \times 0,8} = 18,08$

- batas kelangsingan $\left[\frac{k l_u}{r} \right]_{\text{lim}} = 34 - 12 \frac{16,67}{90,92} = 31,80$

$$18,08 < 31,80$$

jadi pengaruh kelangsingan tidak perlu diperhitungkan !

5. Perhitungan momen ekuivalen

$$M_{cx} = M_{zbx} + M_{zsx}$$

$$= 90,92 + 1961,05 = 2051,97 \text{ kNm}$$

$$M_{cy} = M_{zby} + M_{zsy}$$

$$= 28,07 + 693,92 = 721,99 \text{ kNm}$$

$$M_{uox} = M_{cx} + M_{cy} (h/b) \left[\frac{1 - \beta}{\beta} \right] \longrightarrow \beta = 0,65$$

$$M_{uox} = 2051,97 + 721,99 \times \left[\frac{1 - 0,65}{0,65} \right]$$

$$= 2440,73 \text{ kNm}$$

$$M_{uoy} = 721,99 + 2051,79 \times \left[\frac{1 - 0,65}{0,65} \right]$$

$$= 1826,88 \text{ kNm}$$

$$M_{uo} \text{ ekuivalen} = 2440,73 \text{ kNm}$$

* Perhitungan titik absis dan ordinat pada diagram M - N

$$- K_x = \frac{M_{uo}}{A_g h} = \frac{2440,73 \times 10^6}{800^2 \times 800} = 4,77$$

$$- K_y = \frac{P_u}{A_g} = \frac{8821,20 \times 10^3}{800^2} = 13,78$$

Dari diagram interaksi M - N non dimensi untuk nilai Kx dan Ky yang sesuai, didapatkan :

$$- \rho = 3 \%$$

$$- A_s = \rho A_g = 0,03 \times 800^2 = 19200 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 24 D32 ($A_s = 19296 \text{ mm}^2$)

* Cek biaksial bending momen dengan Bresler Reciprocal Method

$$\frac{e_x}{h} = \frac{721,99/8821,20}{0,8} = 0,10$$

$$\frac{e_y}{h} = \frac{2051,97/8821,2}{0,8} = 0,29$$

$$\begin{aligned} \rho &= A_s \text{ ada} / A_g \\ &= 192,96 / 80^2 = 0,03 \end{aligned}$$

Dari diagram interaksi M-N non dimensi untuk nilai e_x/h dan e_y/h , maka didapat nilai Kx dan Ky :

$$\begin{aligned} K_x = 21 &\longrightarrow P_{ox} = K_x \frac{640000}{0,65} \\ &= 20,68 \text{E}6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_y &= 11 \quad \longrightarrow \quad P_{oy} = K_y \frac{640000}{0,65} \\ &= 10,83E6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,8 \phi (0,85 f_c' (A_g - A_s) + A_s f_y) \\ &= 0,8 \cdot 0,65 (0,85 \cdot 29,18 (800^2 - 19296) + 19296 \times 390) \\ &= 11,92E6 \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol} \quad \frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= \left[\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o} \right]^{-1} \\ &= \left[\frac{1}{20,68E6} + \frac{1}{10,84E6} - \frac{1}{11,92E6} \right]^{-1} \\ &= 17,63E6 \text{ N} > P_n = 13,57E6 \text{ N} \end{aligned}$$

* Penulangan Geser & Torsi

$$- V_u = 7,13E5 \text{ N} \quad \quad \quad N_u = 8,82E6 \text{ N}$$

$$- T_u = 2,3E6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} - d &= h - d_c - \phi_{seng} - \phi_{tul} \\ &= 800 - 80 - 12 - 32/2 = 692 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$- \text{Tulangan geser} = \phi 12 \quad \longrightarrow \quad f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$- A_v \text{ ada} = 1/4 \pi 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} - \text{Batas } T_u \text{ min} &= \phi 1/20 \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y \\ &= 0,6 \times 1/20 \sqrt{29,18} \times 800^3 \\ &= 8,30E7 >> T_u = 2,3E6 \end{aligned}$$

Torsi diabaikan

Sumbangan Kekuatan Geser Beton

$$\begin{aligned}
 V_c &= 1/6 \sqrt{f_c'} b_w d \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \\
 &= 1/6 \times \sqrt{29,18} \times 800 \times 692 \times \left[1 + \frac{8,82E6}{14 \times 800^2} \right] \\
 &= 991,89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

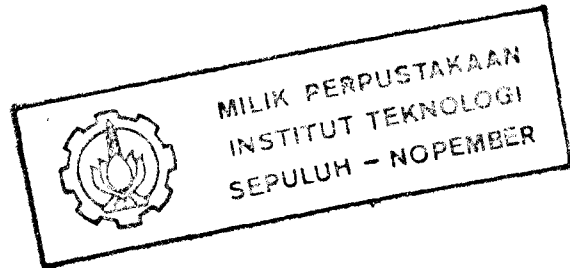
Untuk daerah ujung (sejarak d dari muka kolom)

$$V_{cu} = 0,5 V_c = 495,95 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ pada muka kolom} = 7,13E5 \text{ N}$$

$$V_u \text{ pada jarak } d = V_u \left(1 - \frac{d}{L_n/2} \right)$$

$$= 7,13E5 \left(1 - \frac{692}{2800/2} \right) = 3,59E5 \text{ N}$$

*Gaya Geser yang Harus Diterima oleh Tulangan Geser*

□ Daerah ujung

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_{cu} = \frac{7,13E5}{0,6} - 4,96E5 = 6,92E5 \text{ N}$$

Kondisi design untuk kombinasi geser dan torsi

termasuk Zone 3 : a. $T_u < \phi \frac{1}{20} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y$

b. $V_u > \phi V_c$

Torsi dapat diabaikan dan dihitung geser saja

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{6,92E5}{320 \times 694} = 3,12 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$s = \frac{2 \times 113,04}{3,12} = 72,46 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimum :

$$\begin{aligned} \text{a.} \quad s &= (x_1 + y_1) / 4 \\ &= (628 + 628) / 4 \\ &= 314 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b.} \quad s &= 10 \times \text{diameter tul utama} \\ &= 10 \times 32 = 320 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c.} \quad s &= d / 4 = 694 / 4 \\ &= 173,5 \text{ mm (menentukan)} \end{aligned}$$

Dipasang sengkang ϕ 12 - 100 mm

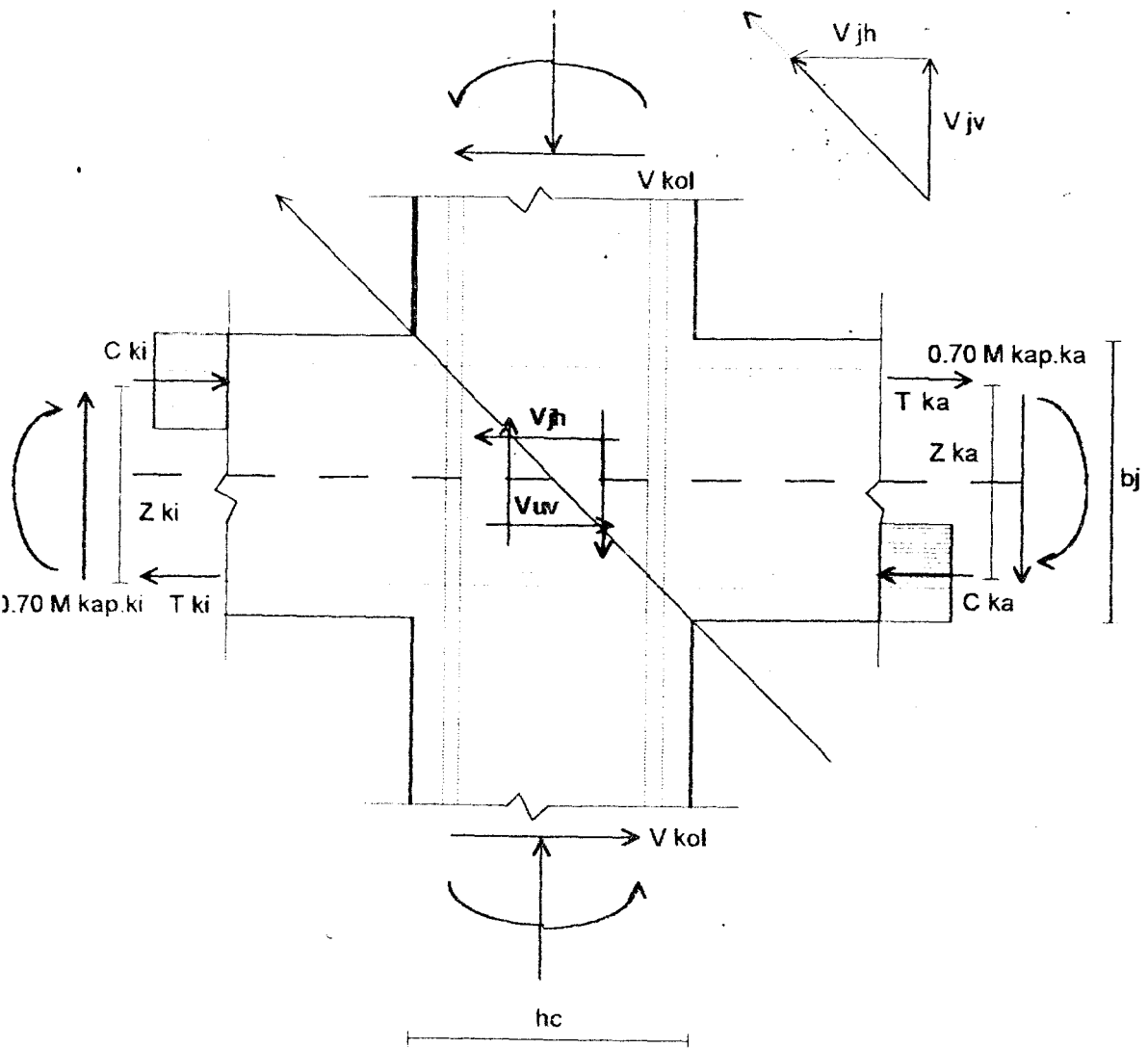
□ Di luar daerah ujung kolom

$$V_u = 3,59\text{E}5 < \phi V_c = 0,6 \times 9,92\text{E}5 = 5,95\text{E}5 \text{ N}$$

Dipasang sengkang ϕ 12 - 200 mm

6.2.5 PERTEMUAN BALOK DAN KOLOM

Pertemuan balok dan kolom merupakan daerah dimana terjadi interaksi tegangan yang sangat tinggi, karena adanya momen berbalik arah pada pada balok-balok di sisinya akibat beban gempa yang cukup besar. Panel pertemuan balok dan kolom portal harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan kuat geser horisontal perlu V_{uh} dan kuat geser vertikal perlu V_{uv} yang berkaitan dengan terjadinya momen kapasitas pada sendi plastis pada ke dua ujung balok yang bertemu pada kolom itu, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar : Gaya-gata pada Beam-Column Joint

Faktor yang kritis dalam perencanaan pertemuan balok dan kolom adalah pemindahan gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen struktur kepada elemen struktur lainnya melalui suatu pertemuan. Bila tidak direncanakan dengan tepat justru di

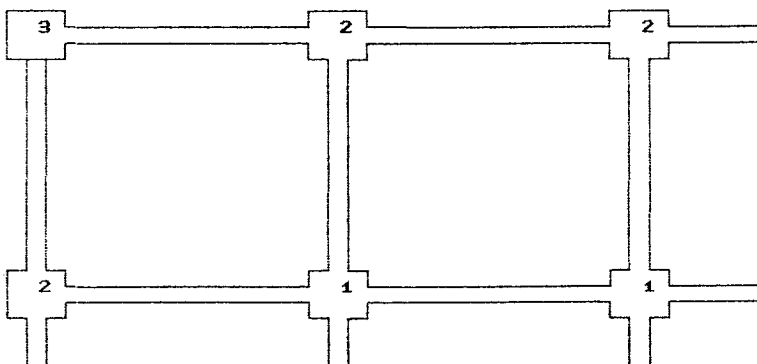
daerah pertemuan ini akan terjadi retak diagonal akibat gaya geser horisonal yang bekerja.

Perhitungan pertemuan balok dan kolom ini direncanakan dengan metode-metode yang sesuai dengan peraturan beton yang berlaku yaitu SK-SNI 91 dan buku peraturan penunjang lainnya.

SK SNI 91 menyebutkan bahwa momen lentur, gaya geser kolom, gaya geser horisontal V_{jh} , dan gaya geser vertikal V_{jv} yang melewati inti suatu pertemuan balok kolom harus diperhitungkan terhadap pengaruh gaya-gaya yang membentuk suatu kesetimbangan pada joint yang ditinjau.

Secara garis besar type pertemuan balok dan kolom dibagi menjadi 3 yaitu :

- | | | | |
|-------------------|---|---|-------------------|
| 1. Interior Joint | } | → | Lihat Gambar 8.1. |
| 2. Exterior Joint | | | |
| 3. Corner Joint | | | |



MACAM PERTEMUAN BALOK DAN KOLOM

► Langkah - langkah perhitungan pertemuan balok kolom

1. Hitung gaya geser horisontal yang harus dipikul oleh pertemuan balok dan kolom.

a. untuk interior joint

$$V_{jh} = 1,25 (A_s + A_s') f_y - V_{kol} \quad (\text{PB '89 A-6.1.1})$$

b. untuk exterior dan corner joint

$$\left. \begin{array}{l} V_{jh} = 1,25 A_s f_y - V_{kol} \\ V_{jh} = 1,25 A_s' f_y - V_{kol} \end{array} \right\} \rightarrow \text{pilih yang terbesar !}$$

dimana :

- V_{jh} = gaya geser horisontal yang bekerja pada joint
- A_s = tulangan atas balok
- A_s' = tulangan bawah balok
- V_{kol} = gaya geser kolom yang dihitung dengan rumus :

$$V_{kol} = \frac{\left(\frac{L_{ub \text{ ki}}}{L_{nb \text{ ki}}} M_{kap \text{ ki}} + \frac{L_{ub \text{ ka}}}{L_{nb \text{ ka}}} M_{kap \text{ ka}} \right)}{1/2 (L_{ka} + l_{kb})}$$

- $L_{ub \text{ ki}, ka}$ = jarak as ke as balok kiri dan kanan joint yang ditinjau
- $L_{nb \text{ ki}, ka}$ = bentang bersih balok kiri dan kanan joint yang ditinjau
- L_{ka}, L_{kb} = jarak as ke as kolom atas dan bawah joint yang ditinjau

- $M_{kap\ ki,ka}$ = momen kapasitas balok kiri dan kanan berdasarkan keadaan tarik dalam tulangan

$$M_{kap} = 1,25 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

2. Hitung tegangan geser nominal yang terjadi dalam joint

$$j_h = \frac{V_{jh}}{b_j h_k} \leq 1,5 \sqrt{f_c'} \quad (\text{SKSNI '91 pers 3.14-8})$$

dimana : (lihat gambar 8.2)

- b_j = lebar efektif joint (mm) yang dicari dengan cara sebagai berikut :

a. bila $b_k > b_b$

$$b_j = b_k$$

$$b_j = b_b + 0,5 h_k$$

} → pilih yang terkecil

b. bila $b_k \leq b_b$

$$b_j = b_b$$

$$b_j = b_k + 0,5 h_k$$

} → pilih yang terkecil

- h_k = tinggi total penampang kolom dalam arah geser yang ditinjau (mm)

3. Hitung tegangan geser yang mampu dipikul oleh beton

$$c_h = 2/3 \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0,1 f_c'} \quad (\text{SKSNI '91 pers 3.14-10})$$

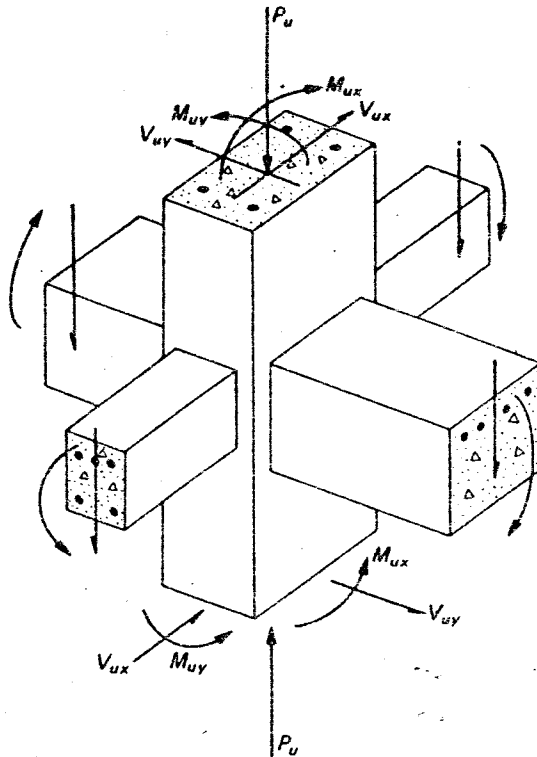
4. Rencanakan tulangan geser pada joint sbb :

a. bila $j_h \leq c_h \longrightarrow$ pasang tulangan geser min !

b. bila $j_h \geq c_h \longrightarrow$ perlu tulangan geser !

$$A_{sh} = \frac{(j_h - c_h) b_j s}{f_y}, \quad s = \text{spasi (mm)}$$

Note : Perencanaan tulangan geser pada pertemuan balok dan kolom, exterior, interior, maupun corner, harus ditinjau pada masing-masing arah gaya terhadap sumbu kolom. Jumlah tulangan geser yang menentukan adalah yang dipasang

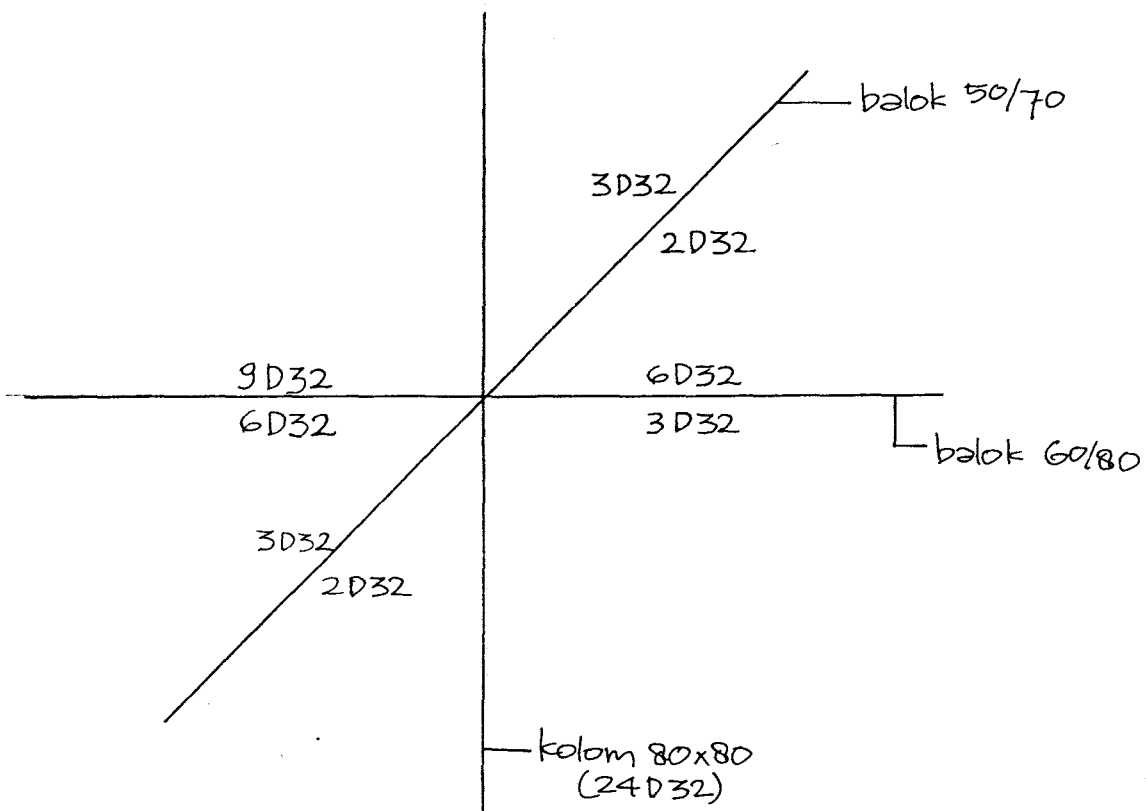


Gaya-gaya pada pertemuan balok-kolom

• Contoh perhitungan pertemuan balok kolom

Sebagai contoh perhitungan pertemuan balok - kolom diambil kolom interior lantai 6A dengan no. joint 1602

- ukuran balok induk = 60 x 80 cm
- ukuran kolom lantai 1 = 80 x 80 cm
- mutu beton (f_c') = 29,18 Mpa (balok dan kolom)
- mutu baja (f_y) = 320 Mpa (begel)
= 390 Mpa (balok dan kolom)
- gaya aksial (P_u) = 8,82E6 N
- diameter begel ϕ 12 , A_{sh} ada = 113,04 mm²



Tinjau arah X (lihat gambar)

$$\text{Tulangan : 9 D-32 } A_s = 7236 \text{ mm}^2$$

$$6 \text{ D-32 } A_s = 4824 \text{ mm}^2$$

$$2 \text{ D-32 } A_s = 1608 \text{ mm}^2$$

Hitung momen kapasitas balok dalam tarik

$$\begin{aligned} a_{ki} &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 4824 \times 320}{0,85 \times 29,18 \times 600} \\ &= 176,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{kap \text{ ki}} &= 1,25 A_s f_y (d - a/2) \\ &= 1,25 \times 4824 \times 320 (722 - 176,69/2) \\ &= 1,27 \times 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Z_{ki} = d - a/2 = 722 - 176,69/2 = 656,36 \text{ mm}$$

$$T_{ki} = \frac{0,7 M_{kap \text{ ki}}}{Z_{ki}} = \frac{0,7 \times 1,27 \times 10^9}{656,36} = 1354,44 \text{ kN}$$

$$a_{ka} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 4824 \times 320}{0,85 \times 29,18 \times 600}$$

$$= 176,69 \text{ mm}$$

$$M_{kap\ ka} = 1,25 A_s f_y (d - a/2)$$

$$= 1,25 \times 4824 \times 320 (722 - 131,27/2)$$

$$= 1,27E9 \text{ Nmm}$$

$$Z_{ka} = d - a/2 = 722 - 131,27/2 = 656,36 \text{ mm}$$

$$T_{ka} = \frac{0,7 M_{kap\ ka}}{Z_{ka}} = \frac{0,7 \times 1,27E9}{656,36} = 1354,44 \text{ kN}$$

Hitung gaya geser kolom yang bekerja pada joint

$$V_{kol} = \frac{0,7 \left[\frac{Lub\ ki}{Lnb\ ki} M_{kap\ ki} + \frac{Lub\ ka}{Lnb\ ka} M_{kap\ ka} \right]}{1/2 (L_{ka} + l_{kb})}$$

$$V_{kol} = \frac{0,7 \left(\frac{800}{720} \times 1,27E9 + \frac{800}{720} \times 1,27E9 \right)}{1/2 (3600 + 3000)}$$

$$= \frac{1,97E9}{3,30E3} = 0,59E6 \text{ N}$$

Gaya geser dan tegangan geser horisontal yang bekerja :

$$V_{jh} = T_{ki} + T_{ka} - V_{kol}$$

$$= 1354,44 + 1354,44 - 660$$

$$= 2048,88 \text{ kN}$$

$$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j h_k}$$

- mencari lebar efektif joint b_j :

$$b_k > b_b \longrightarrow b_j = b_k = 80 \text{ cm}$$

$$b_j = b_b + 0,5 h_k = 60 + 80/2 = 100 \text{ cm}$$

- kontrol tegangan geser horizontal minimal

$$\begin{aligned} v_{jh} &= \frac{2,05 \times 10^6}{800 \times 800} = 3,20 \text{ Mpa} \leq 1,5 \sqrt{f_c'} \\ &= 3,20 \text{ Mpa} < 1,5 \sqrt{29,18} = 8,1 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tinjau arah Y (lihat gambar 8.4)

$$\text{Tulangan : } 3 \text{ D-32 } \quad A_s = 2412 \text{ mm}^2$$

$$2 \text{ D-32 } \quad A_s = 1608 \text{ mm}^2$$

Hitung momen kapasitas balok dalam tarik

$$\begin{aligned} a_{ki} &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 1608 \times 320}{0,85 \times 29,18 \times 600} \\ &= 43,22 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{kap \text{ ki}} &= 1,25 A_s f_y (d - a/2) \\ &= 1,25 \times 1608 \times 320 (722 - 131,27/2) \\ &= 4,22 \times 10^8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Z_{ki} = d - a/2 = 722 - 131,27/2 = 656,36 \text{ mm}$$

$$T_{ki} = \frac{0,7 M_{kap \text{ ki}}}{Z_{ki}} = \frac{0,7 \times 4,22 \times 10^8}{656,36} = 450,06 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} a_{ka} &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 2412 \times 320}{0,85 \times 29,18 \times 600} \\ &= 64,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{kap\ ka} &= 1,25 A_s f_y (d - a/2) \\
 &= 1,25 \times 2412 \times 320 (722 - 131,27/2) \\
 &= 6,33E8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$Z_{ka} = d - a/2 = 722 - 131,27/2 = 656,36 \text{ mm}$$

$$T_{ka} = \frac{0,7 M_{kap\ ka}}{Z_{ka}} = \frac{0,7 \times 6,33E8}{656,36} = 675,09 \text{ kN}$$

Hitung gaya geser kolom yang bekerja pada joint

$$V_{kol} = \frac{0,7 \left[\frac{L_{ub\ ki}}{L_{nb\ ki}} M_{kap\ ki} + \frac{L_{ub\ ka}}{L_{nb\ ka}} M_{kap\ ka} \right]}{1/2 (L_{ka} + L_{kb})}$$

$$\begin{aligned}
 V_{kol} &= \frac{0,7 \left(\frac{800}{720} \times 4,22E8 + \frac{800}{720} \times 6,33E8 \right)}{1/2 (3600 + 3000)} \\
 &= \frac{2,18E9}{3,30E3} = 0,66E6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser dan tegangan geser horisontal yang bekerja :

$$\begin{aligned}
 V_{jh} &= T_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \\
 &= 450,06 + 675,09 - 660 \\
 &= 465,15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai ini lebih kecil dibanding dengan arah x, sehingga arah x yang lebih menentukan.

- Hitung penulangan geser horisontal yang diperlukan

Tegangan geser yang dipikul beton

$$V_{ch} = 2/3 \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0,1 f_c'} \times b_j \times h_c$$

$$\begin{aligned} &= 2/3 \sqrt{\frac{8,82\text{E}6}{800 \times 800} - 0,1 \times 29,18 \times 800^2} \\ &= 1,40\text{E}6 \text{ N} < V_{jh} \longrightarrow \text{perlu tulangan geser !} \end{aligned}$$

Sisa tegangan yang harus dipikul tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{sh} &= V_{jh} - V_{ch} \\ &= 2,05\text{E}6 - 1,40\text{E}6 = 0,65\text{E}6 \text{ N} \\ A_{sh} &= \frac{V_{sh}}{f_y} = \frac{0,65\text{E}6}{320} = 2031,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Sengkang } \phi 12, A_{st} = 4 \times 113,04 = 452,16 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah lapis sengkang} = 2031,25/452,16 = 4,49 \approx 5 \text{ lapis}$$

- *Hitung penulangan geser vertikal yang diperlukan*

Tegangan geser yang dipikul beton

$$\begin{aligned} V_{cv} &= V_{jh} \left(0,6 + \frac{P_u}{A_g f_{c'}} \right) \\ &= 2,05\text{E}6 \left(0,6 + \frac{8,82\text{E}6}{800 \times 800 \times 29,18} \right) \\ &= 2,20\text{E}6 \text{ N} > V_{jv} \longrightarrow \text{tidak perlu tulangan geser !} \end{aligned}$$

PERENCANAAN KONSOL PENDEK

Konsol pendek atau corbel adalah sebuah bagian struktur yang onjol pada kolom ataupun dinding untuk memikul beban.

a suatu corbel bekerja gaya - gaya :

Gaya vertikal V_u

Berasal dari reaksi perletakan beban mati dan beban hidup

$$V_u = 1,2 V_D + 1,6 V_L$$

Gaya horisontal tarik N_u

Berasal dari shrinkage (susut), creep (rangkak) serta perubahan suhu.

$$\text{Persyaratan minimum (PB-88 11.9.3.4) } N_u = 1,6 (0,2 V_u)$$

Momen yang berasal dari V_u dan N_u .

$$M_u = V_u \times a + N_u (h - d)$$

.1 Perhitungan penulangan konsol

Beban berfaktor

$$V_u = 550 \text{ kN}$$

$$N_{uc} = 1,6 (0,2 V_u) = 1,6 (0,2 \times 550) = 176 \text{ kN}$$

Lebar pelat landasan

$$V_u = \phi (0,85 f_c' A)$$

$$A = \frac{550 \times 10^3}{0,65 \times 0,85 \times 29,18} = 34114,98 \text{ mm}^2$$

$$\text{lebar pelat landasan} = \frac{34114,98}{800} = 42,64 \text{ mm}$$

dipakai 10 cm x 800 cm

) Jarak bersih antara muka kolom dan ujung balok = 4 cm.

$$a = 15 + 1/2 \times 10 = 20 \text{ cm}$$

Tinggi konsol

$$V_n \text{ max} = 0,2 f_c' b d \leq 5,5 b d$$

$$d_{\text{min}} = \frac{550 \text{ E3}}{0,65 \times 5,5 \times 800} = 192,31 \text{ mm}$$

dipakai $d = 50 \text{ cm}$

$$\text{direncanakan } h = d + 4 = 54 \text{ cm}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{20}{50} = 0,4 \leq 1$$

$$) \quad A_v f = \frac{V_u}{\phi f_y \mu} = \frac{550 \text{ E3}}{0,65 \times 390 \times 1,4} = 1549,73 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}) \quad M_u &= V_u \times a + N_{uc} (h - d) \\ &= 550 \times 20 + 176 (54 - 50) \\ &= 117,04 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{117,04 \text{ E6}}{0,8 \times 800 \times 500^2} = 0,7315$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 29,18} = 23,92$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{23,92} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 23,92 \times 0,732}{390}} \right) \\ &= 0,00157 < \rho_{\text{min}} = 0,00359 \end{aligned}$$

$$\text{ambil } \rho = 0,00359$$

$$\begin{aligned} A_f \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00359 \times 800 \times 500 = 1436 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi f_y} = \frac{176 \text{ kN}}{0,65 \times 390} = 694,28 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{2}{3} A_{vf} + A_n$$

$$= \frac{2}{3} \times 1549,73 + 694,28 = 1727,43 \text{ mm}^2 \text{ atau}$$

$$A_s = A_f + A_n = 1436 + 694 = 2130 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

dipakai tulangan 6 D22 ($A_s = 2279$)

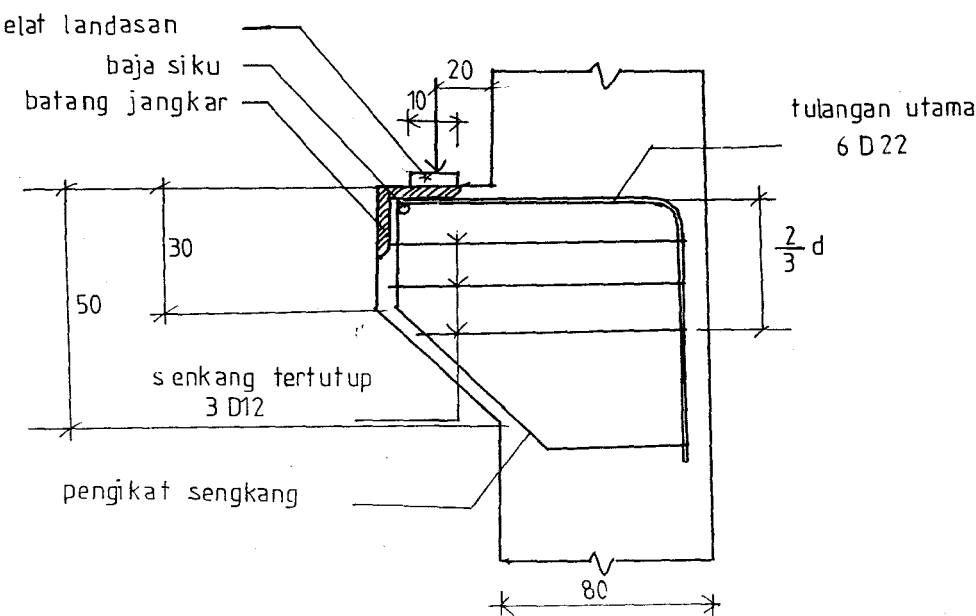
$$A_h = 0,5 (A_s - A_n)$$

$$= 0,5 (2130 - 694,28) = 717,86 \text{ mm}^2 \text{ atau}$$

$$A_h = \frac{1}{3} A_{vf} = \frac{1}{3} \times 1549,73 = 516,58$$

dipakai sengkang tertutup 3 D12 ($A_s = 339$)

$$\text{sejarak } \frac{2}{3} d = \frac{2}{3} \times 50 = 33,33 \text{ cm}$$



DESAIN KONSOL

BAB VII

PERENCANAAN PONDASI

Dalam perencanaan ini digunakan data tanah yang dapat mewakili keadaan secara umum di lokasi berdirinya struktur gedung tersebut. Berdasarkan data tanah tersebut dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah keras mulai dijumpai pada kedalaman lebih dari 20 meter.

Karena kondisi letak tanah keras yang cukup dalam dan struktur atas yang tinggi (33,60 m) yang berakibat memberikan beban yang berat pada pendukung bangunan, maka alternatif yang dipilih sebagai struktur bangunan bawah adalah tiang pancang.

Dalam struktur gedung ini dipilih tiang pancang beton pratekan WIKA dengan pertimbangan bahwa :

- Lokasi bangunan yang terbatas dimana tidak memungkinkan pembuatan tiang pancang di tempat
- Konsistensi mutu terjamin karena tiang pancang WIKA dibuat di pabrik dengan pengawasan mutu yang merupakan bagian dari proses produksi
- Berat tiang pancang beton pratekan hanya 50 - 60 % dari tiang pancang beton biasa dengan kapasitas yang sama

7.1 DATA TANAH

Untuk mengawali perencanaan pondasi struktur gedung parkir berlantai banyak ini, maka telah dilakukan penyelidikan tanah di lapangan pada areal Jalan Dharmahusada 31-35 Surabaya oleh Testana Engineering, Inc.

Penyelidikan tanah di lapangan meliputi bor dalam dan sondir ringan. Boring dalam, untuk mengetahui jenis dan kondisi strata tanah secara visuil. Dalam pemboran tersebut disertai dengan uji SPT (Standart Penetration Test), untuk mengetahui kekuatan tanah. Data hasil pemboran dan SPT diperlihatkan pada lampiran.

Penyelidikan sondir (CPT, Cone Penetrometer test), untuk mengetahui nilai perlawanan ujung, qc dan gesekan selimut, fs. Nilai perlawanan ujung dan gesekan selimut ini dapat memberikan indikasi jenis tanah dan beberapa parameter tanah. Hasil uji sondir diperlihatkan dalam bentuk grafik pada lampiran.

Dalam perhitungan akan digunakan data boring saja karena dari data sondir hanya diperoleh data sampai kedalaman 15 m. Sehingga dianggap kurang mewakili untuk perencanaan pondasi yang lebih dalam dari 20 m.

7.2 PERENCANAAN JUMLAH PONDASI TIANG PANCANG

Dalam perencanaan jumlah pondasi tiang pancang sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang akan disalurkan ke pondasi dan daya dukung pondasi.

7.2.1 DAYA DUKUNG PONDASI

Daya dukung suatu tiang harus ditinjau berdasarkan kekuatan daya dukung tanah tempat tiang di tanam dan kekuatan bahan. Hasil daya dukung yang menentukan yang akan dipakai sebagai daya dukung ijin tiang.

7.2.1.1 BERDASARKAN KEKUATAN DAYA DUKUNG TANAH

Dari hasil SPT dan Boring diperoleh data-data N jumlah pukulan pada setiap kedalaman tertentu, Jenis tanah dan sifat tanah pada tiap-tiap kedalaman. Dari data tersebut diperoleh daya dukung tanah dengan mempergunakan formula dari Meyerhof (1976).

Daya dukung total tanah terdiri dari daya dukung tanah akibat perlawanan ujung pile dan daya dukung tanah akibat lekatan tanah.

$$P_{ult} = P_e' + P_s$$

$$P_e' = \text{end bearing capacity}$$

$$P_s = \text{skin friction capacity}$$

$$P_{all} = \frac{P_{ult}}{FS} \quad (FS = \text{factor of safety})$$

1. End Bearing Capacity

$$P_e' = q_e' A_e$$

A_e = area of pile base

q_e' = net unit end bearing resistance

For sands and gravels :

$$q_e' = 0,4 N'_{60} \frac{D}{B} \sigma_r \leq 4,0 N'_{60} \sigma_r$$

For nonplastic silts :

$$q_e' = 0,4 N'_{60} \frac{D}{B} \sigma_r \leq 3,0 N'_{60} \sigma_r$$

D = pile embedment depth

B = pile diameter

σ_r = reference stress = $2000 \text{ lb/ft}^2 = 100 \text{ kPa}$

N'_{60} = average SPT N value corrected for field procedures and overburden stress ($N'_{60} = C_N N_{60}$)

$$N_{60} = \frac{E_m C_B C_s C_R N}{0,60}$$

N_{60} = average SPT N value corrected for field procedures

E_m = hammer efficiency (from Table 4.3)

C_B = borehole diameter correction (from Table 4.4)

C_s = sampler correction (from Table 4.4)

C_R = rod length correction (from Table 4.4)

N = average SPT N value of near pile base

CN = overburden correction factor

For normally consolidated fine sands :

$$C_N = \frac{2}{1 + \sigma'_v / \sigma_r}$$

For normally consolidated coarse sands :

$$C_N = \frac{3}{2 + \sigma'_v / \sigma_r}$$

For overconsolidated sands :

$$C_N = \frac{1,7}{0,7 + \sigma'_v / \sigma_r}$$

When the soil is a dense silty sand below the groundwater table and $N_{60} > 15$:

$$N_{60} \text{ adjusted} = 15 + 0,5 (N_{60} \text{ field} - 15)$$

2. Skin Friction Capacity

$$P_s = f_s A_s$$

A_s = gross surface area of shaft

f_s = unit skin friction resistance

For large displacement piles in cohesionless soils

$$f_s = \frac{\sigma_r}{50} N_{60}$$

For small displacement pile in cohesionless soils

$$f_s = \frac{\sigma_r}{100} N_{60}$$

$$N_{60} = \frac{E_m C_B C_s C_R N}{0,60}$$

N_{60} = average SPT N value corrected for field procedures

E_m = hammer efficiency (from Table 4.3)

C_B = borehole diameter correction (from Table 4.4)

C_s = sampler correction (from Table 4.4)

C_R = rod length correction (from Table 4.4)

N = average SPT N value of shaft

3. Factor of Safety

From table 11.1 Typical factor of safety for design of deep foundations for downward loads.

For Classification of structure : permanent

Lump the remaining factors into an assessment of control is a normal control.

The design factor of safety = 2,5

● Perhitungan Daya Dukung Tiang

Berdasarkan data SPT maka direncanakan memakai tiang pancang produksi WIKA dengan panjang 27 m dan diameter 600 mm.

1. End Bearing Capacity

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= (\gamma_{sat} - \gamma_w) h \\ &= (17,2 - 10) 27 \\ &= 194,4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

For overconsolidated soils :

$$C_N = \frac{1,7}{0,7 + \sigma'_v / \sigma_r}$$

$$= \frac{1,7}{0,7 + 194,4/100} = 0,65$$

Harga - harga SPT dekat ujung pile

8 D dari ujung ke atas (22,2 m s/d 27 m)

4 D dari ujung ke bawah (27m s/d 29,4 m)

$$N = \frac{31 + 29 + 38 + 32 + 46}{5} = 35,2$$

$$N_{60} = \frac{E_m C_B C_S C_R N}{0,60}$$

$$= \frac{0,78 \times 1,15 \times 1 \times 1 \times 35,2}{0,60} = 52,624$$

$$N_{60 \text{ adjusted}} = 15 + 0,5 (N_{60 \text{ field}} - 15)$$

$$= 15 + 0,5 (52,624 - 15)$$

$$= 33,812$$

$$N'_{60} = C_N N_{60} = 0,65 \times 33,812 = 21,98$$

For nonplastic silts :

$$q_e' = 0,4 N'_{60} \frac{D}{B} \sigma_r \leq 3,0 N'_{60} \sigma_r$$

$$= 0,4 \times 21,98 \times \frac{27}{0,6} \times 100 \leq 3,0 \times 21,98 \times 100$$

$$= 39564 \leq 6594$$

dipakai $q_e' = 6594 \text{ kPa}$

$$A_e = \frac{\pi (0,6)^2}{4} = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$P_{e'} = q_{e'} A_e = 6594 \times 0,2827 = 1864,12 \text{ kN}$$

2. Skin Friction Capacity

Harga rata-rata N sepanjang tiang

$$N = \frac{3+5+\frac{1}{45}+\frac{1}{45}+1+2+1+19+4+14+32+29+38+33}{14} = 12,79$$

$$\begin{aligned} N_{so} &= \frac{E_m C_B C_s C_R N}{0,60} \\ &= \frac{0,78 \times 1,15 \times 1 \times 1 \times 12,79}{0,60} = 19,12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{so \text{ adjusted}} &= 15 + 0,5 (N_{so \text{ field}} - 15) \\ &= 15 + 0,5 (19,12 - 15) \\ &= 17,06 \end{aligned}$$

For large displacement piles in cohesionless soils

$$\begin{aligned} f_s &= \frac{\sigma_r}{50} N_{so} \\ &= \frac{100}{50} \times 17,06 = 34,12 \end{aligned}$$

$$A_s = \pi (0,6)^2 \times 27 = 50,89 \text{ m}^2$$

$$P_s = f_s A_s = 34,12 \times 50,89 = 1763,37 \text{ kN}$$

Total kekuatan satu tiang yang diijinkan

$$\begin{aligned} P_{ult} &= P_{e'} + P_s \\ &= 1864,12 + 1763,37 = 3627,49 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{all} = \frac{3627,49}{2,5} = 1450,996 \text{ kN} = 145,10 \text{ ton}$$

↓ 3 → 2,5 - P_n 5,25 P.

7.2.1.2 BERDASARKAN KEKUATAN BAHAN

Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang produksi WIKA dengan spesifikasi bahan seperti pada brosur yang dikeluarkan oleh WIKA (terlampir)

Direncanakan memakai tiang pancang dengan diameter 600 mm type C :

$$P_{ult} = 211,60 \text{ ton}$$

$$M_{yield} = 29,00 \text{ tm}$$

$$M_{ult} = 58,00 \text{ tm}$$

7.2.1.3 PENENTUAN JUMLAH TIANG DALAM SATU KELOMPOK

Dari analisa SAP90 diperoleh gaya-gaya dalam pada pondasi sebagai berikut :

$$P_u = 8872,9686 \text{ kN}$$

$$H_{ux} = 90,3882 \text{ kN}$$

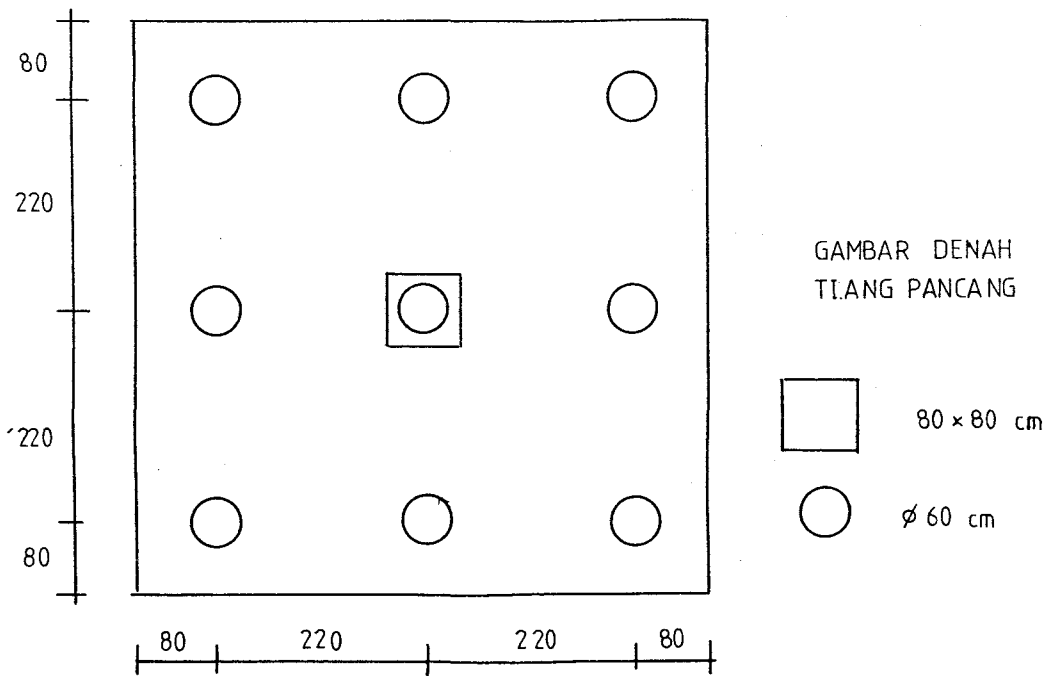
$$H_{uy} = 361,9436 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 650,1176 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 246,9590 \text{ kNm}$$

$$\text{Jumlah tiang} = \frac{887,297}{145,10} = 6,12$$

direncanakan pakai 9 buah tiang



7.2.2 DAYA DUKUNG SATU TIANG DALAM KELOMPOK

Daya dukung satu tiang dalam kelompok didapat dari daya dukung satu tiang yang berdiri sendiri dikalikan dengan suatu faktor efisiensi (Eff) yang dihitung dengan rumus :

$$P_{ult} = P_u \text{ 1 tiang berdiri sendiri } \times \text{Eff}$$

$$\text{Efisiensi} = 1 - \phi \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 m n} \right)$$

dimana : ϕ = arc tg (D/S) dalam derajat

D = diameter tiang pancang

S = spasi antar tiang (min 3D - 3,5D)

m = jumlah baris

n = jumlah tiang dalam satu baris

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= 1 - \text{arc tg } \frac{60}{220} \left(\frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90 \times 3 \times 3} \right) \\ &= 1 - 15,15^\circ \times \left(\frac{12}{810} \right) = 0,8 \end{aligned}$$

sehingga

$$\begin{aligned} P_{ijin} &= P_u \text{ 1 tiang } \times \text{ Eff} \\ &= 145,10 \times 0,8 = 116,08 \text{ ton} \end{aligned}$$

7.2.3 BEBAN MAKSIMUM SATU TIANG DALAM KELOMPOK

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen - momen yang bekerja pada tiang.

Beban maksimum yang terjadi pada satu tiang tersebut tidak boleh melebihi daya dukung ijin tiang.

Rumus yang digunakan :

$$P_{\max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_x Y_{\max}}{\sum x^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum y^2} \leq P_{ijin}$$

dimana :

P_{ijin} = daya dukung ijin 1 tiang dalam kelompok

P_{\max} = beban maksimum yang diterima 1 tiang pancang

$\sum P_u$ = Jumlah total beban aksial yang bekerja pada tiang (termasuk berat poer)

M_x = momen yang terjadi pada arah x

M_y = momen yang terjadi pada arah y

n = banyaknya tiang dalam kelompok tiang

X_{\max} = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

Ymax = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

Σx^2 = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang

Σy^2 = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang

$$\Sigma P = 887,297 + (6 \times 6 \times 1,2 \times 2,4) = 990,97 \text{ ton}$$

$$\Sigma x^2 = \Sigma y^2 = 6 \times 2,2^2 = 29,04$$

$$P_{\max} = \frac{990,97}{9} + \frac{65,01 \times 2,2}{29,04} + \frac{24,69 \times 2,2}{29,04}$$

$$= 110,11 + 4,925 + 1,870$$

$$= 116,905 \leq 116,08$$

7.3 KONTROL TIANG PANCANG TERHADAP GAYA LATERAL

Tiang pancang harus mampu menerima gaya tekan aksial dan momen akibat gaya horisontal dengan cara mengubah gaya horisontal menjadi momen tambahan yang bekerja pada tiang pancang.

Untuk mendapatkan momen akibat gaya horisontal ini dapat digunakan rumus-rumus yang terdapat pada buku H.G. Poulos & E.H. Davis, *Pile Foundation Analysis And Design*. Skema gaya - gaya yang terjadi pada tiang akibat gaya horisontal dapat dilihat pada gambar.

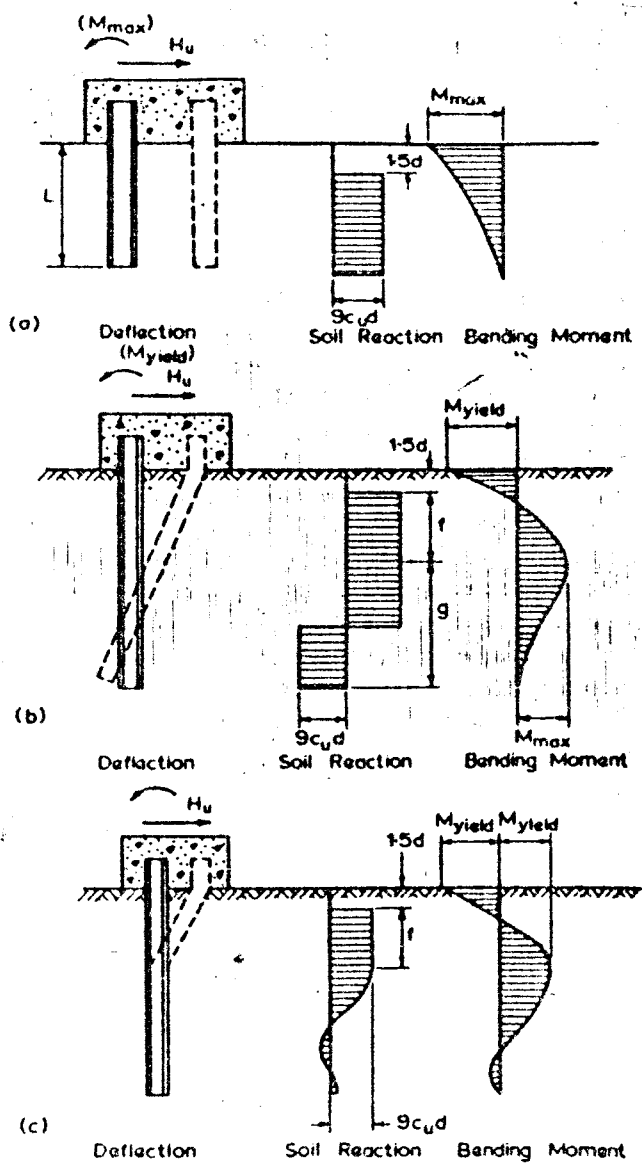


FIGURE 1. Restrained piles, in cohesive soil: (a) short; (b) intermediate; (c) long (after Broms, 1964a).

Kemampuan tiang pancang terhadap gaya lateral dihitung berdasarkan :

- jumlah kemampuan masing - masing tiang
- kemampuan kelompok tiang pancang yang dianggap sebagai satu blok ekuivalen yang meliputi tiang - tiang pancang dan tanah diantara tiang pancang tersebut

Untuk mengontrol kemampuan masing - masing tiang maupun kelompok tiang perlu dibedakan antara tiang panjang dan tiang pendek, dimana tiang panjang dan tiang pendek ditentukan dengan rumus :

$$L_2 = 2,2 \times (f + 1,5 D)$$

dimana : f = panjang daerah perlawanan daerah

$$= \frac{H}{9 C_r D}$$

$C_r = 0,5 C_u$, C_u = harga kohesi tanah

D = diameter tiang (untuk satu tiang) atau lebar minimum kelompok tiang dengan tanah diantaranya yang dianggap sebagai tiang

Apabila $L \text{ tiang} > L_2$ maka tiang dianggap sebagai tiang panjang, demikian pula sebaliknya

Momen yang bekerja pada tiang pancang akibat dari gaya lateral dapat ditentukan dengan melihat diagram. M_y diperoleh dengan parameter :

$$\frac{H_u}{C_u d^2}$$

Dengan memilih grafik yang sesuai dengan e/d (e = jarak muka tanah ke gaya lateral), maka akan diperoleh harga $\frac{M_{yield}}{C_u d^3}$ sehingga M_{yield} dapat dihitung. Hasil M_{yield} yang diperoleh harus lebih besar dari M_{yield} yang ada.

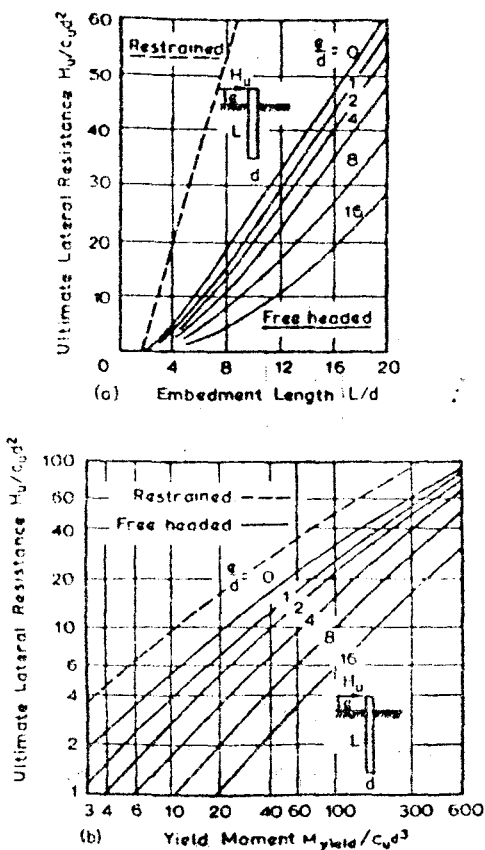


FIGURE Ultimate lateral resistance in cohesive soils: (a) short piles; (b) long piles (Broms, 1964a).

► Contoh perhitungan

- Berdasarkan jumlah kemampuan masing-masing tiang

Gaya yang bekerja pada tiang kolom :

$$H_{ux} = 90,3882 \text{ kN} = 9038,82 \text{ kg}$$

$$H_{uy} = 361,9436 \text{ kN} = 36194,36 \text{ kg}$$

$$H_o = \sqrt{9038,82^2 + 36194,36^2} = 37305,92 \text{ kg}$$

Dipakai tiang pancang WIKA diameter 600 mm type C :

$$P_{ult} = 211,60 \text{ ton}$$

$$M_{yield} = 29,00 \text{ tm}$$

$$M_{ult} = 58,00 \text{ tm}$$

- Menentukan jenis tiang pendek atau panjang

$$C_u = 0,48 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_r = 0,5 \times 0,48 = 0,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_u = \frac{37305,92}{8} = 4663,24 \text{ kg}$$

$$f = \frac{H_u}{9 C_r D} = \frac{4663,24}{9 \times 0,24 \times 60} = 35,98$$

$$L_1 = f + 1,5 D = 35,98 + 1,5 \times 60 = 161,96$$

$$L_2 = 2,2 L_1 = 2,2 \times 161,96 = 356,312 \text{ cm}$$

Panjang tiang yang ada 27 m > 3,56 m → tiang panjang

$$\frac{H_u}{C_u d^2} = \frac{4663,24}{0,48 \times 60^2} = 2,6986$$

Dari grafik berikut dengan $\frac{H_u}{C_u d^2} = 2,6986$ dan untuk

restraint pile (tiang pancang yang ujungnya tertahan)

dan $e/d = 0$ didapatkan harga $\frac{M_{yield}}{C_u d^3} = 9,5$

$$M_{yield} = 9,5 \times 0,48 \times 60^3 = 984960 \text{ kg cm} = 9,85 \text{ ton meter}$$

$$M_{yield} < M_{yield \text{ bahan}} = 29,00 \text{ tm}$$

$$P_{ult} = \frac{1010,98}{8} = 126,37 \text{ t} < P_{ult \text{ bahan}} = 211,60 \text{ t}$$

• Berdasarkan blok ekivalen

- Menentukan jenis tiang pendek atau panjang

$$C_u = 0,48 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_r = 0,5 \times 0,48 = 0,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_u = H_o = 37305,92 \text{ kg}$$

$$D = 440 + 2 \times 80 = 600 \text{ cm}$$

$$f = \frac{H_u}{9 C_r D} = \frac{37305,92}{9 \times 0,24 \times 600} = 28,79$$

$$L_1 = f + 1,5 D = 28,79 + 1,5 \times 600 = 928,79$$

$$L_2 = 2,2 L_1 = 2,2 \times 928,79 = 2043,34 \text{ cm}$$

Panjang tiang yang ada 27 m > 20,43 m \rightarrow tiang panjang

$$\frac{H_u}{C_u d^2} = \frac{37305,92}{0,48 \times 600^2} = 0,22$$

Dari grafik berikut dengan $\frac{H_u}{C_u d^2} = 0,22$ dan untuk

restraint pile (tiang pancang yang ujungnya tertahan)

dan $e/d = 0$ didapatkan harga $\frac{8 \times M_{yield}}{C_u d^3} = 2,13$

$$M_{yield} = 2,13 \times 0,48 \times 600^3 / 8 = 27,6 \text{ ton meter}$$

$$M_{yield} < M_{yield} \text{ bahan} = 29,00 \text{ tm}$$

$$P_{ult} = 1010,98 \text{ t} < P_{ult} \text{ bahan} = 8 \times 211,60 = 1692,80 \text{ t}$$

7.4 PERENCANAAN POER (PILE CAP)

Poer direncanakan terhadap gaya geser pons pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur.

7.4.1 PERHITUNGAN GESER PONS PADA POER

Dalam merencanakan tebal poer, harus dipenuhi syarat bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Besar tulangan geser maksimum yang boleh dipasang dibatasi oleh syarat :

$$V_n \max \leq 0,5 \sqrt{f_c'} b_o d$$

dimana b_o = parameter dari penampang kritis

$$= 4 (b_k + d) = 4 (600 + d)$$

$$V_{ult} \text{ yang terjadi pada kolom} = 9072960 \text{ N}$$

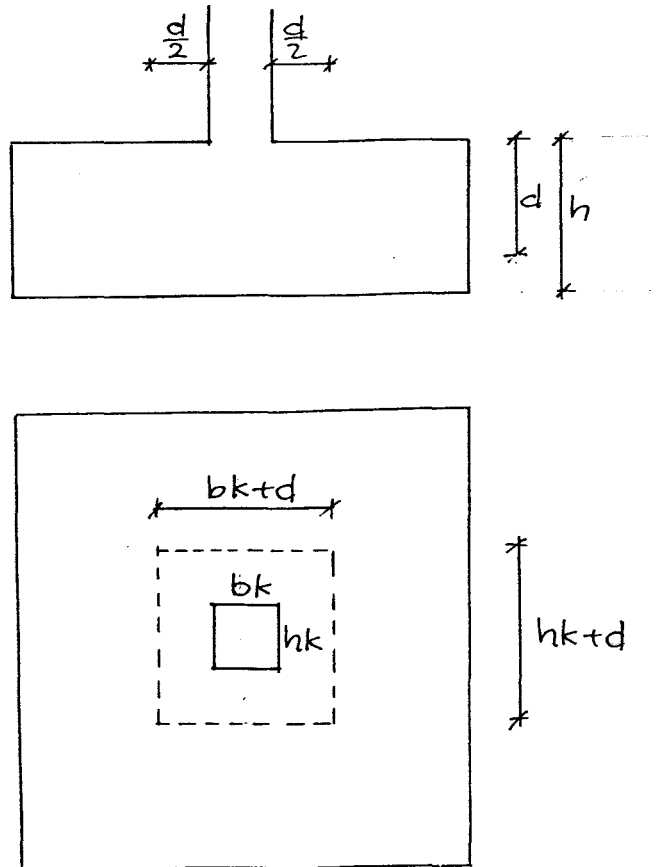
$$V_n \max = 9072960 / 0,6 = 15121600 \text{ N}$$

$$15121600 = 0,5 \sqrt{24,61} (600 + d) 4 d$$

$$= (1488,25 + 2,48) 4 d$$

$$15121600 = 5953 d + 9,92 d^2 \longrightarrow d = 934,60 \text{ mm}$$

maka direncanakan tebal poer = 1300 mm



Gambar Geser Pons

7.4.2 PERHITUNGAN GESER LENTUR

$$\begin{aligned}
 P_1 = P_3 &= \frac{1010,98}{9} + \frac{66,91 \times 2,2}{29,04} + \frac{26,69 \times 2,2}{29,04} \\
 &= 112,33 + 5,07 + 2,02 \\
 &= 119,42 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \frac{1010,98}{9} + \frac{66,91 \times 0}{29,04} + \frac{26,69 \times 2,2}{29,04} \\
 &= 112,33 + 0 + 2,02 \\
 &= 114,35 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$V_n = \frac{233,77}{0,6} = 389,62 \text{ ton}$$

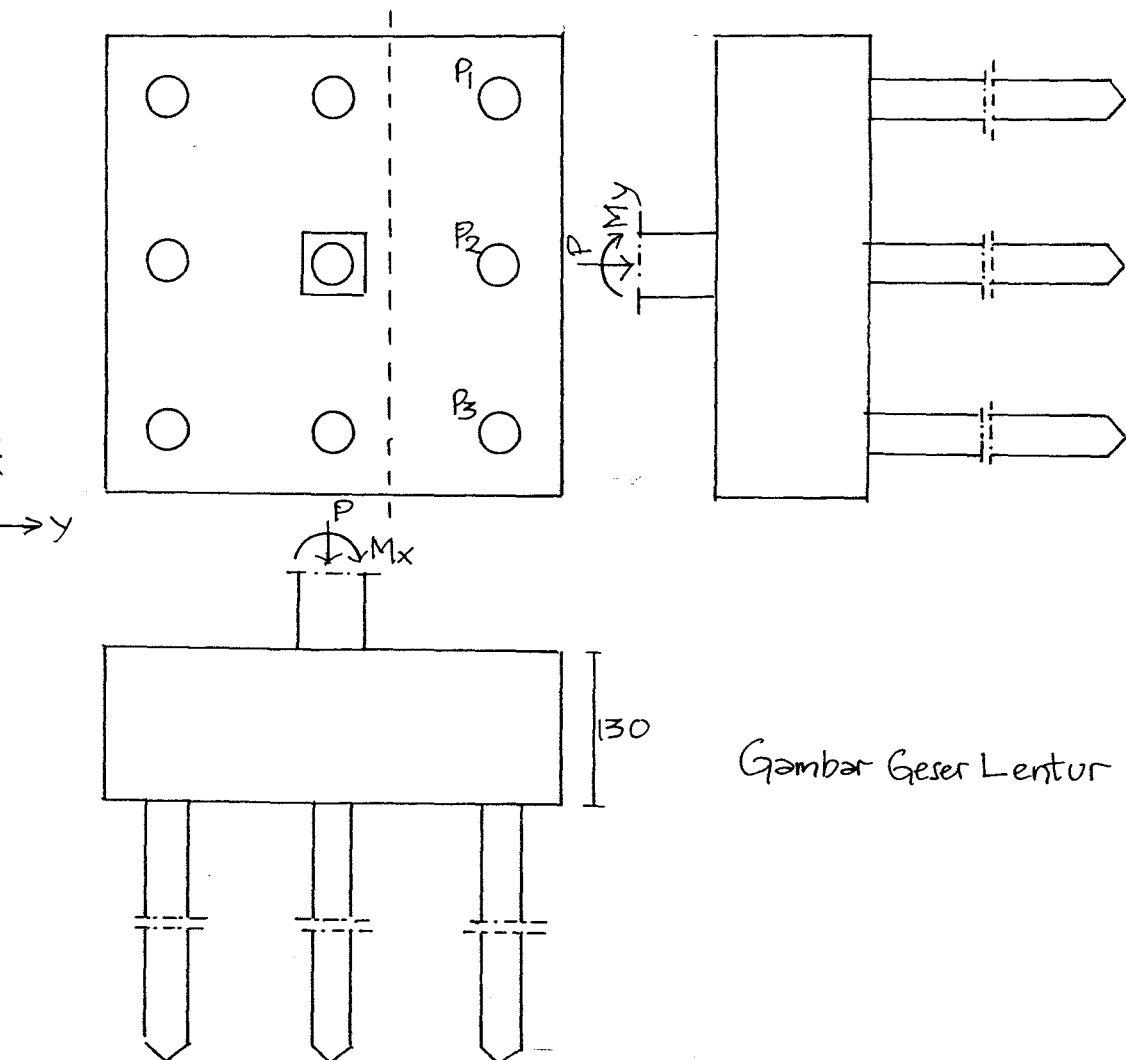
Geser yang mampu dipikul beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{c'}} b_o d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{24,61} \times 6000 \times 1124$$

$$= 557,60 \text{ ton}$$

$V_n < V_c \longrightarrow$ tidak perlu tulangan geser



Gambar Geser Lentur

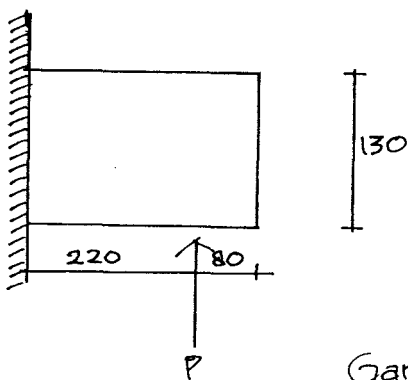
7.4.3 PENULANGAN LENTUR POER

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang diterima poer adalah beban terpusat dari tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q .

Beban - beban tersebut merupakan gaya - gaya yang bekerja pada jarak antar titik pusat kolom sampai titik pusat tiang pancang dengan perletakan pada sisi luar kolom yang dianggap sebagai perletakan jepit.

• Contoh perhitungan penulangan lentur

A r a h X



Gambar Pembebanan Poer

Pembebanan :

- berat sendiri poer (q)

$$= 3 \times 6 \times 1,3 \times 2,4 \times 1,2 = 56,16 \text{ t/m}$$
- gaya terpusat 1 tiang pancang (P) = $907,296/9 = 113,41 \text{ t}$
- $d = 1300 - 150 - 0,5 \times 25 = 1137,5 \text{ mm}$
- $d' = 60 + 0,5 \times 25 = 72,5 \text{ mm}$

Dihitung dengan cara yang sama untuk arah Y didapatkan

Tulangan As \longrightarrow D22-100 (As = 3801)

As' \longrightarrow D22-200 (As = 1901)

7.5 PERENCANAAN SLOOF (TIE BEAM)

Sloof atau tie beam menerima beban berat dinding /tembok, berat sendiri sloof, dan beban aksial tekan dan tarik.

Gaya aksial yang bekerja diambil sebesar 10 % dari beban aksial kolom yang terjadi pada kondisi pembebanan gempa (Buku PPSBBSTBUG '83 - 6.9.2).

Penentuan dimensi sloof dilakukan dengan memperhitungkan syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan tarik ijin beton (fct).

Direncanakan Sloof dengan ukuran 50 x 70 cm² dengan mutu beton $f_c' = 24,61$ MPa dan mutu baja = 320 MPa. Dari hasil analisa didapat gaya $P_u = 2649,9418$ kN.

7.5.1 KONTROL TERHADAP AKSIAL TARIK

$$\begin{aligned} f_{ct} &= f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} \dots\dots (\text{PB '89 ps1 9.5.2.3}) \\ &= 0,7 \sqrt{24,61} = 3,47 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_r \text{ yang terjadi} &= \frac{N_u}{\phi b h} \leq f_{ct} \\ &= \frac{0,1 \times 2,65 \times 10^6}{0,8 \times 500 \times 700} \\ &= 0,95 \text{ MPa} \leq f_{ct} = 3,47 \text{ MPa} \end{aligned}$$

7.5.2 PENULANGAN LENTUR SLOOF

Perhitungan penulangan sloof terhadap aksial tekan dan lentur adalah sama caranya dengan penulangan pada kolom.

- ukuran sloof = 50 x 70 cm
- mutu beton (f_c') = 24,61 Mpa
- mutu tulangan (f_y) = 320 Mpa
- decking (d_c) = 60 mm
- tulangan utama = D-25
- sengkang = ϕ 10
- tinggi efektif (d) = 700 - 60 - 10 - 12,5 = 617,5 mm

$$P_u = 10 \% \times 264,99 = 26,45 \text{ ton}$$

Beban yang diterima sloof :

$$\begin{array}{rclcl} - \text{berat sendiri sloof} & = & 0,5 \times 0,7 \times 2400 & = & 840 \text{ kg/m} \\ - \text{berat dinding} & = & 3,6 \times 250 & = & 900 \text{ kg/m} \\ & & & & \hline & & & & 1740 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$q_u = 1,2 \times 1740 = 2088 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{12} \times 2088 \times 5,145^2 = 4605,96 \text{ kgm} = 46059,6 \text{ Nm}$$

$$K_x = \frac{46059,6 \text{ €}}{500 \times 700 \times 700} = 0,1880$$

$$K_y = \frac{264994}{500 \times 700} = 0,7571$$

lihat diagram interaksi F320-25 didapat $p = 0,01$

$$A_s = 0,01 \times 500 \times 700 = 3500 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan 8 D25 ($A_s = 3925$) untuk 4 sisi

Hasil perhitungan penulangan lentur sloof dapat dilihat pada tabel lampiran.

7.5.3 PENULANGAN GESER SLOOF

Sloof direncanakan menerima beban aksial tarik pada perencanaan terhadap geser yaitu kondisi paling kritis. Gaya aksial tarik (- Nu) berpengaruh paling kritis terhadap geser sebab dapat menimbulkan retak sedangkan gaya aksial (+ Nu) cenderung menguntungkan karena beton mampu menahan beban tekan.

Penulangan geser sloof dihitung dengan cara yang sama seperti pada penulangan geser pada kolom.

$$V_u = 0,5 \text{ g } 1 = 0,5 \times 2088 \times 5,145 = 5371,38 \text{ kg} = 53713,8 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{53713,8}{0,6} = 89523 \text{ N}$$

Kekuatan geser yang disediakan beton

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \sqrt{f_{c'}} \frac{1}{6} b_w d \\
 &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{-264994}{14 \times 500 \times 700} \right) \sqrt{24,61} \frac{1}{6} 500 \times 627,5 \\
 &= 122690,95 \text{ N}
 \end{aligned}$$

tetapi tidak boleh kurang dari

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,4 \sqrt{\frac{N_u}{A_g}} b_w d \\
 &= 0,4 \sqrt{\frac{264994}{500 \times 700}} 500 \times 627,5 = 109201,28 \text{ N}
 \end{aligned}$$

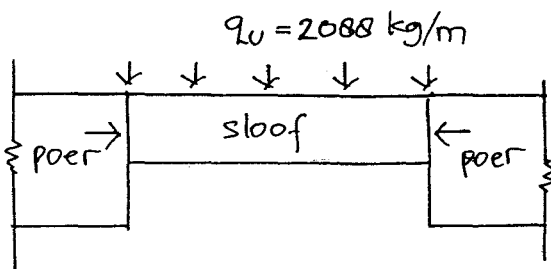
$$V_n < V_c$$

$$89523 < 122690,95$$

dipakai sengkang praktis \emptyset 10-150

$$s_{\max} = \frac{d}{4} = \frac{627,5}{4} = 156,875 \text{ mm}$$

Selanjutnya hasil penulangan geser sloof dapat dilihat pada tabel lampiran



Gambar Pembebanan Sloof

7.6 PERHITUNGAN PENULANGAN PADA HUBUNGAN TIANG PANCANG DAN POER

1. Hitung kekakuan komponen struktur

$$E_c = 4700 \sqrt{24,61} = 23315,98 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g \text{ pile} = \frac{1}{64} 3,14 \times 40^4 = 125600 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 2 \times 1 \times 4,91 \times 20^2 = 3928,00 \text{ cm}^4$$

$$2 \times 2 \times 4,91 \times 14^2 = 3849,44 \text{ cm}^4 + \\ 7777,44 \text{ cm}^4$$

$$EI \text{ pile} = 0,2 \times 23315,98 \times 125600 \text{E}4 + 2 \text{E}5 \times 7777,44 \text{E}4$$

$$= 2,146 \text{E}13 \text{ Nmm}^2 = 21460 \text{ kNm}$$

$$\text{Kekakuan pile} = \frac{21460}{1,5} = 14306,67$$

$$I_g \text{ poer} = \frac{1}{12} 6000 \times 130^3 = 1,3182 \text{E}10 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = \frac{1}{2} I_g \text{ poer} = 0,659 \text{E}10 \text{ mm}^4$$

$$EI \text{ poer} = E_c I_{cr} = 23315,98 \times 0,659 \text{E}10 = 153652,31 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kekakuan balok} = \frac{153652,31}{1,5} = 102434,87$$

2. Kontrol kelangsingan

$$\text{- faktor jepitan atas} \quad \mu_A = \frac{\sum EI / Lu \text{ kolom}}{\sum EI / Lu \text{ balok}}$$

$$= \frac{293762,11/3,6 + 14306,67/7,2}{2 \times 102434,87/3}$$

$$= 1,22$$

- faktor jepitan bawah $\mu_B = 1$

lihat diagram nomogram untuk portal tanpa pengaku (unbraced)

- faktor tekuk $k = 1,10$

- rasio kelangsingan $\frac{k l_u}{r} = \frac{1,10 \times 7,2}{0,3 \times 0,4} = 66$

- batas kelangsingan $\left[\frac{k l_u}{r} \right]_{\text{lim}} = 34 - 12 = 22$
 $22 < 66$

jadi pengaruh kelangsingan perlu diperhitungkan !

3. Perhitungan momen pembesaran

$$M = \delta M_{\text{yield}}$$

$$\delta = \frac{C_m}{1 - P_u / \phi P_c} \geq 1 \quad (\text{SKSNI pers 3.3-7})$$

$$P_c = \frac{\pi^2 E I}{(k L_n)^2} \quad (\text{SKSNI pers 3.3-9})$$

$$EI = \frac{0,2 E_c I_g + E_s I_s}{1 + \beta_d} \quad (\text{SKSNI pers 3.3-10})$$

$$P_c = \frac{\pi^2 E I}{(k L_n)^2} = \frac{\pi^2 \times 21460}{(1,1 \times 7,2)^2} = 3373,17 \text{ kN}$$

$$\delta = \frac{C_m}{1 - P_u / \phi P_c} = \frac{1}{1 - 1194,2 / (0,65 \times 3373,17)}$$

$$= 2,1964$$

$$M_u = \delta M_{\text{yield}} = 2,1964 \times 290 = 636,956 \text{ kNm}$$

4. Perhitungan titik absis dan ordinat pada diagram M - N

$$- K_x = \frac{M_u}{A_g h} = \frac{636,956 \text{E} 6}{1/4 \pi 600^2 \times 600} = 3,76$$

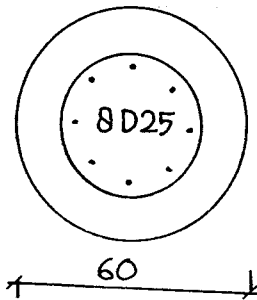
$$- K_y = \frac{P_u}{A_g} = \frac{1194,2 \text{E} 3}{1/4 \pi 600^2} = 4,23$$

Dari diagram interaksi M - N non dimensi untuk nilai Kx dan Ky yang sesuai, didapatkan :

$$- \rho = 3 \%$$

$$- A_s = \rho A_g = 0,03 \times 125600 = 3768 \text{ mm}^2$$

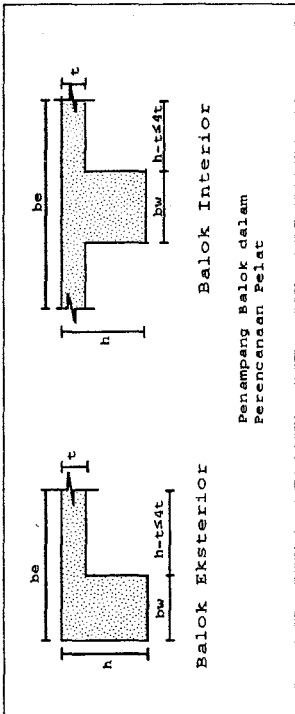
Dipakai tulangan 8 D25 ($A_s = 3925 \text{ mm}^2$)



Tabel 3.1.a. Perencanaan Tebal Pelat Lantai berdasar SKSNI T-15-1991-03

$f_y = 240$

TYPE PELAT	L _n	S _n	β	balok	LEBAR	b _w	h	t	be1	be2	be	be/b _w	ρ _h	k	j _b	j _s	α	Q _m	h ₁	h ₂	h ₃	h rencana
A	730	365	2.00	INTERIOR	400	60	80	13	127	112	112	1.867	0.163	1.263	3234509	73233.3	44.17	27.54	2.26	12.98	19.47	13
				INTERIOR	800	30	60	13	124	134	124	4.133	0.217	1.776	959171.8	146467	6.55					
				INTERIOR	400	60	80	13	127	112	112	1.867	0.163	1.263	3234509	73233.3	44.17					
				INTERIOR	800	50	70	13	164	154	154	3.080	0.186	1.568	2240369	146467	15.30					
B	730	365	2.00	INTERIOR	400	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	51.38	31.15	2.03	12.98	19.47	13
				EXTERIOR	800	30	60	13	124	134	124	4.133	0.217	1.776	959171.8	146467	6.55					
				INTERIOR	400	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	51.38					
				INTERIOR	800	50	70	13	164	154	154	3.080	0.186	1.568	2240369	146467	15.30					
C	730	365	2.00	INTERIOR	400	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	51.38	31.15	2.03	12.98	19.47	13
				INTERIOR	800	30	60	13	124	134	124	4.133	0.217	1.776	959171.8	146467	6.55					
				EXTERIOR	400	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	51.38					
				INTERIOR	800	50	70	13	164	154	154	3.080	0.186	1.568	2240369	146467	15.30					
D	400	400	1.00	EXTERIOR	400	30	60	13	77	82	77	2.567	0.217	1.482	800518.9	73233.3	10.93	31.70	1.99	8.53	10.67	13
				INTERIOR	400	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	51.38					
				INTERIOR	400	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	51.38					
				EXTERIOR	400	30	60	13	124	134	124	4.133	0.217	1.776	959171.8	73233.3	13.10					
E	400	150	2.67	EXTERIOR	400	30	60	13	124	134	124	4.133	0.217	1.776	959171.8	73233.3	13.10	57.30	0.48	6.40	10.67	13
				INTERIOR	150	60	80	13	127	112	112	1.867	0.163	1.263	3234509	73233.3	44.17					
				INTERIOR	400	60	80	13	127	112	112	1.867	0.163	1.263	3234509	73233.3	44.17					
				INTERIOR	150	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	13.10					
F	400	200	2.00	EXTERIOR	400	30	60	13	77	82	77	2.567	0.217	1.482	800518.9	73233.3	10.93	47.82	0.75	7.11	10.67	13
				INTERIOR	200	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	36616.7	102.76					
				EXTERIOR	400	60	80	13	194	164	164	2.733	0.163	1.470	3762876	73233.3	51.38					
				EXTERIOR	200	30	60	13	124	134	124	4.133	0.217	1.776	959171.8	36616.7	26.19					
G	800	600	1.33	INTERIOR	800	30	60	16	118	158	118	3.933	0.267	1.764	952409.4	273067	3.49	10.24	7.47	16.00	21.33	16
				INTERIOR	600	50	70	16	158	178	158	3.160	0.229	1.616	2309373	204800	11.28					
				INTERIOR	800	60	80	16	188	188	188	3.133	0.200	1.591	4073657	273067	14.92					
				INTERIOR	600	50	70	16	158	178	158	3.160	0.229	1.616	2309373	204800	11.28					



TABEL 3.2.a PERHITUNGAN MOMEN PELAT LANTAI PARKIR LEVEL 1

fy = 240 Mpa Rho max = 0.03969
fc' = 24.6 Mpa Rho min = 0.00583

φ = 0.8

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Jenis pelat	Tabel 13.3.2	C	qDL (kg/m^2)	qLL (kg/m^2)	qu (kg/m^2)	Daerah	Mu (kgm)
A	3.65	7.30	2.000	2 arah	II	62.00	400	800	1760	tump. x	-1453.751
	3.65	7.30	2.000			35.00	400	800	1760	lap. x	820.666
	3.65	7.30	2.000			35.00	400	800	1760	tump. y	-820.666
	3.65	7.30	2.000			35.00	400	800	1760	lap. y	820.666
B	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI B	62.00	400	800	1760	tump. x	-1453.751
	3.65	7.30	2.000			34.00	400	800	1760	lap. x	797.218
	3.65	7.30	2.000			34.00	400	800	1760	tump. y	-797.218
	3.65	7.30	2.000			34.00	400	800	1760	lap. y	797.218
C	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI A	85.00	400	800	1760	tump.x	-1993.046
	3.65	7.30	2.000			50.00	400	800	1760	lap.x	1172.380
	3.65	7.30	2.000			50.00	400	800	1760	tump.y	-1172.380
	3.65	7.30	2.000			50.00	400	800	1760	lap. y	1172.380
D	4.00	4.00	1.000	2 arah	III	48.00	400	800	1760	tump.x	-1351.680
	4.00	4.00	1.000			48.00	400	800	1760	lap.x	1351.680
	4.00	4.00	1.000			48.00	400	800	1760	tump.y	-1351.680
	4.00	4.00	1.000			48.00	400	800	1760	lap. y	1351.680
E	1.50	4.00	2.667	2 arah	VI A	54.00	400	800	1760	tump.x	-213.840
	1.50	4.00	2.667			19.00	400	800	1760	lap.x	75.240
	1.50	4.00	2.667			36.00	400	800	1760	tump.y	-142.560
	1.50	4.00	2.667			19.00	400	800	1760	lap. y	75.240
F	2.00	4.00	2.000	2 arah	III	88.00	400	800	1760	tump.x	-619.520
	2.00	4.00	2.000			49.00	400	800	1760	lap.x	344.960
	2.00	4.00	2.000			49.00	400	800	1760	tump.y	-344.960
	2.00	4.00	2.000			49.00	400	800	1760	lap. y	344.960
G	6.00	8.00	1.333	2 arah	II	50.00	400	800	1760	tump.x	-3168.000
	6.00	8.00	1.333			38.00	400	800	1760	lap.x	2407.680
	6.00	8.00	1.333			38.00	400	800	1760	tump.y	-2407.680
	6.00	8.00	1.333			38.00	400	800	1760	lap. y	2407.680

TABEL 3.2.b PERHITUNGAN MOMEN PELAT LANTAI PARKIR LEVEL 2 S/D 8

fy = 240 Mpa Rho max = 0.03969
fc' = 24.6 Mpa Rho min = 0.00583

φ = 0.8

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Jenis pelat	Tabel 13.3.2	C	qDL (kg/m^2)	qLL (kg/m^2)	qu (kg/m^2)	Daerah	Mu (kgm)
A	3.65	7.30	2.000	2 arah	II	62.00	400	400	1120	tump. x	-925.114
	3.65	7.30	2.000			35.00	400	400	1120	lap. x	522.242
	3.65	7.30	2.000			35.00	400	400	1120	tump. y	-522.242
	3.65	7.30	2.000			35.00	400	400	1120	lap. y	522.242
B	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI B	62.00	400	400	1120	tump. x	-925.114
	3.65	7.30	2.000			34.00	400	400	1120	lap. x	507.321
	3.65	7.30	2.000			34.00	400	400	1120	tump. y	-507.321
	3.65	7.30	2.000			34.00	400	400	1120	lap. y	507.321
C	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI A	85.00	400	400	1120	tump.x	-1268.302
	3.65	7.30	2.000			50.00	400	400	1120	lap.x	746.060
	3.65	7.30	2.000			50.00	400	400	1120	tump.y	-746.060
	3.65	7.30	2.000			50.00	400	400	1120	lap. y	746.060
D	4.00	4.00	1.000	2 arah	III	48.00	400	400	1120	tump.x	-860.160
	4.00	4.00	1.000			48.00	400	400	1120	lap.x	860.160
	4.00	4.00	1.000			48.00	400	400	1120	tump.y	-860.160
	4.00	4.00	1.000			48.00	400	400	1120	lap. y	860.160
E	1.50	4.00	2.667	2 arah	VI A	54.00	400	400	1120	tump.x	-136.080
	1.50	4.00	2.667			19.00	400	400	1120	lap.x	47.880
	1.50	4.00	2.667			36.00	400	400	1120	tump.y	-90.720
	1.50	4.00	2.667			19.00	400	400	1120	lap. y	47.880
F	2.00	4.00	2.000	2 arah	III	88.00	400	400	1120	tump.x	-394.240
	2.00	4.00	2.000			49.00	400	400	1120	lap.x	219.520
	2.00	4.00	2.000			49.00	400	400	1120	tump.y	-219.520
	2.00	4.00	2.000			49.00	400	400	1120	lap. y	219.520
G	6.00	8.00	1.333	2 arah	II	50.00	400	400	1120	tump.x	-2016.000
	6.00	8.00	1.333			38.00	400	400	1120	lap.x	1532.160
	6.00	8.00	1.333			38.00	400	400	1120	tump.y	-1532.160
	6.00	8.00	1.333			38.00	400	400	1120	lap. y	1532.160

TABEL 3.2.c PERHITUNGAN MOMEN PELAT LANTAI CONVENTION HALL (LEVEL 9)

fy	=	240 Mpa	Rho max =	0.03969
fc'	=	24.6 Mpa	Rho min =	0.00583

$$\phi = 0.8$$

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Jenis pelat	Tabel 13.3.2	C	qDL (kg/m ²)	qLL (kg/m ²)	qu (kg/m ²)	Daerah	Mu (kgm)
A	3.65	7.30	2.000	2 arah	II	62.00	495	500	1394	tump. x	-1151.437
	3.65	7.30	2.000			35.00	495	500	1394	lap. x	650.005
	3.65	7.30	2.000			35.00	495	500	1394	tump. y	-650.005
	3.65	7.30	2.000			35.00	495	500	1394	lap. y	650.005
B	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI B	62.00	495	500	1394	tump. x	-1151.437
	3.65	7.30	2.000			34.00	495	500	1394	lap. x	631.433
	3.65	7.30	2.000			34.00	495	500	1394	tump. y	-631.433
	3.65	7.30	2.000			34.00	495	500	1394	lap. y	631.433
C	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI A	85.00	495	500	1394	tump.x	-1578.583
	3.65	7.30	2.000			50.00	495	500	1394	lap.x	928.578
	3.65	7.30	2.000			50.00	495	500	1394	tump.y	-928.578
	3.65	7.30	2.000			50.00	495	500	1394	lap. y	928.578
D	4.00	4.00	1.000	2 arah	III	48.00	495	500	1394	tump.x	-1070.592
	4.00	4.00	1.000			48.00	495	500	1394	lap.x	1070.592
	4.00	4.00	1.000			48.00	495	500	1394	tump.y	-1070.592
	4.00	4.00	1.000			48.00	495	500	1394	lap. y	1070.592
E	1.50	4.00	2.667	2 arah	VI A	54.00	495	500	1394	tump.x	-169.371
	1.50	4.00	2.667			19.00	495	500	1394	lap.x	59.594
	1.50	4.00	2.667			36.00	495	500	1394	tump.y	-112.914
	1.50	4.00	2.667			19.00	495	500	1394	lap. y	59.594
F	2.00	4.00	2.000	2 arah	III	88.00	495	500	1394	tump.x	-490.688
	2.00	4.00	2.000			49.00	495	500	1394	lap.x	273.224
	2.00	4.00	2.000			49.00	495	500	1394	tump.y	-273.224
	2.00	4.00	2.000			49.00	495	500	1394	lap. y	273.224
G	6.00	8.00	1.333	2 arah	II	50.00	495	500	1394	tump.x	-2509.200
	6.00	8.00	1.333			38.00	495	500	1394	lap.x	1906.992
	6.00	8.00	1.333			38.00	495	500	1394	tump.y	-1906.992
	6.00	8.00	1.333			38.00	495	500	1394	lap. y	1906.992

TABEL 3.2.d PERHITUNGAN MOMEN PELAT ATAP

fy	=	240 Mpa	Rho max =	0.03969
fc'	=	24.6 Mpa	Rho min =	0.00583

$$\phi = 0.8$$

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Jenis pelat	Tabel 13.3.2	C	qDL (kg/m ²)	qLL (kg/m ²)	qu (kg/m ²)	Daerah	Mu (kgm)
A	3.65	7.30	2.000	2 arah	II	62.00	508	400	1249.6	tump. x	-1032.163
	3.65	7.30	2.000			35.00	508	400	1249.6	lap. x	582.673
	3.65	7.30	2.000			35.00	508	400	1249.6	tump. y	-582.673
	3.65	7.30	2.000			35.00	508	400	1249.6	lap. y	582.673
B	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI B	62.00	508	400	1249.6	tump. x	-1032.163
	3.65	7.30	2.000			34.00	508	400	1249.6	lap. x	566.025
	3.65	7.30	2.000			34.00	508	400	1249.6	tump. y	-566.025
	3.65	7.30	2.000			34.00	508	400	1249.6	lap. y	566.025
C	3.65	7.30	2.000	2 arah	VI A	85.00	508	400	1249.6	tump.x	-1415.063
	3.65	7.30	2.000			50.00	508	400	1249.6	lap.x	832.390
	3.65	7.30	2.000			50.00	508	400	1249.6	tump.y	-832.390
	3.65	7.30	2.000			50.00	508	400	1249.6	lap. y	832.390
D	4.00	4.00	1.000	2 arah	III	48.00	508	400	1249.6	tump.x	-959.693
	4.00	4.00	1.000			48.00	508	400	1249.6	lap.x	959.693
	4.00	4.00	1.000			48.00	508	400	1249.6	tump.y	-959.693
	4.00	4.00	1.000			48.00	508	400	1249.6	lap. y	959.693
E	1.50	4.00	2.667	2 arah	VI A	54.00	508	400	1249.6	tump.x	-151.826
	1.50	4.00	2.667			19.00	508	400	1249.6	lap.x	53.420
	1.50	4.00	2.667			36.00	508	400	1249.6	tump.y	-101.218
	1.50	4.00	2.667			19.00	508	400	1249.6	lap. y	53.420
F	2.00	4.00	2.000	2 arah	III	88.00	508	400	1249.6	tump.x	-439.859
	2.00	4.00	2.000			49.00	508	400	1249.6	lap.x	244.922
	2.00	4.00	2.000			49.00	508	400	1249.6	tump.y	-244.922
	2.00	4.00	2.000			49.00	508	400	1249.6	lap. y	244.922
G	6.00	8.00	1.333	2 arah	II	50.00	508	400	1249.6	tump.x	-2249.280
	6.00	8.00	1.333			38.00	508	400	1249.6	lap.x	1709.453
	6.00	8.00	1.333			38.00	508	400	1249.6	tump.y	-1709.453
	6.00	8.00	1.333			38.00	508	400	1249.6	lap. y	1709.453

TABEL 3.3.a PENULANGAN PELAT LANTAI PARKIR LEVEL1

$f_y = 240$ Mpa $Rho \text{ max} = 0.03969$
 $f_c' = 24,6$ Mpa $Rho \text{ min} = 0.00583$
 $\phi = 0.8$

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Daerah	Tebal (mm)	D (mm)	selimut beton	d (mm)	Mu (Nmm)	Rn (MPa)	m	Rho perlu	Rho pakai	As perlu (mm ²)	Tulangan D	jarak	As ada (mm ²)
A	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-14537512	2.58	9.41	0.0113	0.0113	952	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	8206660	1.45	9.41	0.0062	0.0062	524	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-8206660	1.98	9.41	0.0086	0.0086	619	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	8206660	1.98	9.41	0.0086	0.0086	619	12	120	942
B	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-14537512	2.58	9.41	0.0113	0.0113	952	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	7972184	1.41	9.41	0.0061	0.0061	509	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-7972184	1.92	9.41	0.0083	0.0083	600	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	7972184	1.92	9.41	0.0083	0.0083	600	12	120	942
C	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-19930460	3.53	9.41	0.0159	0.0159	1401	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	11723800	2.08	9.41	0.0090	0.0090	759	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-11723800	2.83	9.41	0.0125	0.0125	901	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	11723800	2.83	9.41	0.0125	0.0125	901	12	120	942
D	4.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-13516800	2.39	9.41	0.0105	0.0105	882	12	120	942
	4.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	13516800	2.39	9.41	0.0105	0.0105	882	12	120	942
	4.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-13516800	3.26	9.41	0.0146	0.0146	1050	12	80	1413
	4.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	13516800	3.26	9.41	0.0146	0.0146	1050	12	80	1413
E	1.50	4.00	tump. x	130	12	40	84	-2138400	0.38	9.41	0.0016	0.0024	200	12	80	1413
	1.50	4.00	lap. x	130	12	40	84	752400	0.13	9.41	0.0006	0.0008	70	12	80	1413
	1.50	4.00	tump. y	130	12	40	72	-1425600	0.34	9.41	0.0014	0.0022	156	12	120	942
	1.50	4.00	lap. y	130	12	40	72	752400	0.18	9.41	0.0008	0.0011	82	12	120	942
F	2.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-6195200	1.10	9.41	0.0047	0.0058	490	12	80	1413
	2.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	3449600	0.61	9.41	0.0026	0.0039	325	12	80	1413
	2.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-3449600	0.83	9.41	0.0035	0.0053	381	12	120	942
	2.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	3449600	0.83	9.41	0.0035	0.0053	381	12	120	942
G	6.00	8.00	tump. x	160	14	40	113	-31680000	3.10	9.41	0.0138	0.0138	1562	14	80	1923
	6.00	8.00	lap. x	160	14	40	113	24076800	2.36	9.41	0.0103	0.0103	1166	14	80	1923
	6.00	8.00	tump. y	160	14	40	99	-24076800	3.07	9.41	0.0137	0.0137	1354	14	80	1923
	6.00	8.00	lap. y	160	14	40	99	24076800	3.07	9.41	0.0137	0.0137	1354	14	80	1923

TABEL 3.3.b PENULANGAN PELAT LANTAI PARKIR LEVEL 2 S/D 8

$f_y = 240$ Mpa $Rho \text{ max} = 0.03969$
 $f_c' = 24,6$ Mpa $Rho \text{ min} = 0.00583$
 $\phi = 0.8$

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Daerah	Tebal (mm)	D (mm)	selimut beton	d (mm)	Mu (Nmm)	Rn (MPa)	m	Rho perlu	Rho pakai	As perlu (mm ²)	Tulangan D	jarak	As ada (mm ²)
A	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-9251144	1.64	9.41	0.0071	0.0071	593	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	5222420	0.93	9.41	0.0039	0.0058	490	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-5222420	1.26	9.41	0.0054	0.0058	420	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	5222420	1.26	9.41	0.0054	0.0058	420	12	120	942
B	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-9251144	1.64	9.41	0.0071	0.0071	593	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	5073208	0.90	9.41	0.0038	0.0057	480	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-5073208	1.22	9.41	0.0052	0.0058	420	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	5073208	1.22	9.41	0.0052	0.0058	420	12	120	942
C	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-12683020	2.25	9.41	0.0098	0.0098	1401	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	7460600	1.32	9.41	0.0057	0.0058	490	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-7460600	1.80	9.41	0.0078	0.0078	560	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	7460600	1.80	9.41	0.0078	0.0078	560	12	80	1413
D	4.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-8601600	1.52	9.41	0.0066	0.0066	550	12	100	1130
	4.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	8601600	1.52	9.41	0.0066	0.0066	550	12	100	1130
	4.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-8601600	2.07	9.41	0.0090	0.0090	650	12	80	1413
	4.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	8601600	2.07	9.41	0.0090	0.0090	650	12	80	1413
E	1.50	4.00	tump. x	130	12	40	84	-1360800	0.24	9.41	0.0010	0.0015	127	12	80	1413
	1.50	4.00	lap. x	130	12	40	84	478800	0.08	9.41	0.0004	0.0005	45	12	80	1413
	1.50	4.00	tump. y	130	12	40	72	-907200	0.22	9.41	0.0009	0.0014	99	12	120	942
	1.50	4.00	lap. y	130	12	40	72	478800	0.12	9.41	0.0005	0.0007	52	12	120	942
F	2.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-3942400	0.70	9.41	0.0030	0.0044	372	12	80	1413
	2.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	2195200	0.39	9.41	0.0016	0.0024	206	12	80	1413
	2.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-2195200	0.53	9.41	0.0022	0.0033	241	12	120	942
	2.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	2195200	0.53	9.41	0.0022	0.0033	241	12	120	942
G	6.00	8.00	tump. x	160	12	40	114	-20160000	1.94	9.41	0.0084	0.0084	959	12	80	1413
	6.00	8.00	lap. x	160	12	40	114	15321600	1.47	9.41	0.0063	0.0063	721	12	80	1413
	6.00	8.00	tump. y	160	12	40	102	-15321600	1.84	9.41	0.0080	0.0080	813	12	80	1413
	6.00	8.00	lap. y	160	12	40	102	15321600	1.84	9.41	0.0080	0.0080	813	12	80	1413

TABEL 3.3.c PENULANGAN PELAT LANTAI CONVENTION HALL (LEVEL 9)

fy = 240 Mpa Rho max = 0.03969
fc' = 24,6 Mpa Rho min = 0.00583
φ = 0.8

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Daerah	Tebal mm	D mm	selimut beton	d mm	Mu (Nmm)	Rn (MPa)	m	Rho perlu	Rho pakai	As perlu (mm²)	Tulangan D	jarak	As ada (mm²)
A	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-11514370	2.04	9.41	0.0089	0.0089	745	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	6500048	1.15	9.41	0.0049	0.0056	490	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-6500048	1.57	9.41	0.0067	0.0067	486	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	6500048	1.57	9.41	0.0067	0.0067	486	12	120	942
B	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-11514370	2.04	9.41	0.0089	0.0089	745	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	6314332	1.12	9.41	0.0048	0.0058	490	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-6314332	1.52	9.41	0.0065	0.0065	471	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	6314332	1.52	9.41	0.0065	0.0065	471	12	120	942
C	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-15785830	2.80	9.41	0.0124	0.0124	1401	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	9285783	1.65	9.41	0.0071	0.0071	596	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-9285783	2.24	9.41	0.0098	0.0098	704	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	9285783	2.24	9.41	0.0098	0.0098	704	12	120	942
D	4.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-10705920	1.90	9.41	0.0082	0.0082	691	12	120	942
	4.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	10705920	1.90	9.41	0.0082	0.0082	691	12	120	942
	4.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-10705920	2.58	9.41	0.0114	0.0114	818	12	80	1413
	4.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	10705920	2.58	9.41	0.0114	0.0114	818	12	80	1413
E	1.50	4.00	tump. x	130	12	40	84	-1693710	0.30	9.41	0.0013	0.0019	158	12	80	1413
	1.50	4.00	lap. x	130	12	40	84	595935	0.11	9.41	0.0004	0.0007	56	12	80	1413
	1.50	4.00	tump. y	130	12	40	72	-1129140	0.27	9.41	0.0011	0.0017	123	12	120	942
	1.50	4.00	lap. y	130	12	40	72	595935	0.14	9.41	0.0006	0.0009	65	12	120	942
F	2.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-4906880	0.87	9.41	0.0037	0.0055	464	12	80	1413
	2.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	2732240	0.48	9.41	0.0020	0.0031	257	12	80	1413
	2.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-2732240	0.66	9.41	0.0028	0.0042	300	12	120	942
	2.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	2732240	0.66	9.41	0.0028	0.0042	300	12	120	942
G	6.00	8.00	tump. x	160	12	40	114	-25092000	2.41	9.41	0.0106	0.0106	1206	12	80	1413
	6.00	8.00	lap. x	160	12	40	114	19069920	1.83	9.41	0.0079	0.0079	905	12	80	1413
	6.00	8.00	tump. y	160	12	40	102	-19069920	2.29	9.41	0.0100	0.0100	1022	12	80	1413
	6.00	8.00	lap. y	160	12	40	102	19069920	2.29	9.41	0.0100	0.0100	1022	12	80	1413

TABEL 3.3.d PENULANGAN PELAT ATAP

fy = 240 Mpa Rho max = 0.03969
fc' = 24,6 Mpa Rho min = 0.00583
φ = 0.8

Tipe Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Daerah	Tebal mm	D mm	selimut beton	d mm	Mu (Nmm)	Rn (MPa)	m	Rho perlu	Rho pakai	As perlu (mm²)	Tulangan D	jarak	As ada (mm²)
A	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-10321634	1.83	9.41	0.0079	0.0079	665	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	5826729	1.03	9.41	0.0044	0.0058	490	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-5826729	1.40	9.41	0.0060	0.0060	434	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	5826729	1.40	9.41	0.0060	0.0060	434	12	120	942
B	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-10321634	1.83	9.41	0.0079	0.0079	665	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	5660251	1.00	9.41	0.0043	0.0058	490	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-5660251	1.36	9.41	0.0058	0.0058	421	12	120	942
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	5660251	1.36	9.41	0.0058	0.0058	421	12	120	942
C	3.65	7.30	tump. x	130	12	40	84	-14150627	2.51	9.41	0.0110	0.0110	1401	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. x	130	12	40	84	8323898	1.47	9.41	0.0063	0.0063	532	12	80	1413
	3.65	7.30	tump. y	130	12	40	72	-8323898	2.01	9.41	0.0087	0.0087	628	12	80	1413
	3.65	7.30	lap. y	130	12	40	72	8323898	2.01	9.41	0.0087	0.0087	628	12	80	1413
D	4.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-9596928	1.70	9.41	0.0073	0.0073	616	12	100	1130
	4.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	9596928	1.70	9.41	0.0073	0.0073	616	12	100	1130
	4.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-9596928	2.31	9.41	0.0101	0.0101	729	12	80	1413
	4.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	9596928	2.31	9.41	0.0101	0.0101	729	12	80	1413
E	1.50	4.00	tump. x	130	12	40	84	-1518264	0.27	9.41	0.0011	0.0017	142	12	80	1413
	1.50	4.00	lap. x	130	12	40	84	534204	0.09	9.41	0.0004	0.0006	50	12	80	1413
	1.50	4.00	tump. y	130	12	40	72	-1012176	0.24	9.41	0.0010	0.0015	110	12	120	942
	1.50	4.00	lap. y	130	12	40	72	534204	0.13	9.41	0.0005	0.0008	58	12	120	942
F	2.00	4.00	tump. x	130	12	40	84	-4398592	0.78	9.41	0.0033	0.0049	416	12	80	1413
	2.00	4.00	lap. x	130	12	40	84	2449216	0.43	9.41	0.0018	0.0027	230	12	80	1413
	2.00	4.00	tump. y	130	12	40	72	-2449216	0.59	9.41	0.0025	0.0037	269	12	120	942
	2.00	4.00	lap. y	130	12	40	72	2449216	0.59	9.41	0.0025	0.0037	269	12	120	942
G	6.00	8.00	tump. x	160	12	40	114	-22492800	2.16	9.41	0.0094	0.0094	1075	12	80	1413
	6.00	8.00	lap. x	160	12	40	114	17094528	1.64	9.41	0.0071	0.0071	808	12	80	1413
	6.00	8.00	tump. y	160	12	40	102	-17094528	2.05	9.41	0.0089	0.0089	911	12	80	1413
	6.00	8.00	lap. y	160	12	40	102	17094528	2.05	9.41	0.0089	0.0089	911	12	80	1413

PENULANGAN LENTUR DAN GESER BALOK ANAK

$f_c' = 24.61 \text{ MPa}$ $b = 300 \text{ mm}$ $As \ 1D25 = 4.91 \text{ cm}^2$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$ $h = 600 \text{ mm}$
 $d' = 40 \text{ mm}$ $d = 537.5 \text{ mm}$ $As \ 2D10 = 157.08 \text{ mm}^2$
 $\rho_{max} = 0.0276$ $\phi V_c = 7999.36 \text{ kg}$
 $\rho_{min} = 0.004375$ $AI = 0.56 \text{ cm}^2$
 $s = 149.63 \text{ mm}$ $Av_{min} = 93.75 \text{ mm}^2$

LANTAI	No. Balok	Daerah	Mu (Nmm)	Vu (kg)	Rh	ρ_{perlu}	ρ_{pakai}	As perlu (cm ²)	Dipakai	Aspakai (cm ²)	CEK	Vu- ϕV_c (kg)	Avperlu (mm ²)	s pakai	Avpakai (mm ²)
1	BA - 1	Tump.	292400000	18745.72	4.217	0.01487	0.01487	23.977	5	24.55	OK	10746	155.812	$\phi 10-100$	1570.8
		Lap	292400000	0	0.633	0.00201	0.00201	21.5814	5	24.55	OK		praktis	$\phi 10-200$	785.4
	BA - 2	Tump.	400100000	21378.5	5.77	0.0216	0.0216	34.8321	8	39.28	OK	13379	193.985	$\phi 10-100$	1570.8
		Lap	333400000	0	0.721	0.00229	0.00229	24.6624	6	29.46	OK		praktis	$\phi 10-200$	785.4
	BA - 3	Tump.	161200000	10333.47	2.325	0.00772	0.00772	12.4504	5	24.55	OK	2334.1	33.8423	$\phi 10-100$	1570.8
		Lap	161200000	0	0.349	0.0011	0.0011	11.8144	5	24.55	OK		praktis	$\phi 10-200$	785.4
2 S/D 8	BA - 1	Tump.	194665900	12479.23	2.808	0.00946	0.01024	16.512	5	24.55	OK	4479.9	38.9723	$\phi 10-100$	1570.8
		Lap	194665900	0	0.421	0.00133	0.00133	14.2926	5	24.55	OK		praktis	$\phi 10-200$	785.4
	BA - 2	Tump.	282883000	15112.01	4.08	0.01432	0.00744	11.997	5	24.55	OK	7112.7	61.8759	$\phi 10-100$	1570.8
		Lap.	235735900	0	0.51	0.00161	0.00161	17.3461	5	24.55	OK		praktis	$\phi 10-200$	785.4
	BA - 3	Tump.	215200900	13795.62	3.104	0.01055	0.0149	24.0263	5	24.55	OK	5796.3	50.4241	$\phi 10-100$	1570.8
		Lap.	215200900	0	0.466	0.00147	0.00147	15.8176	5	24.55	OK		praktis	$\phi 10-200$	785.4

PENULANGAN LENTUR DAN GESER BALOK ANAK

$f_c' = 24.61 \text{ MPa}$ $b = 300 \text{ mm}$ $As \ 1D25 = 4.91$ cm^2
 $f_y = 320 \text{ MPa}$ $h = 600 \text{ mm}$
 $d' = 40 \text{ mm}$ $d = 537.5 \text{ mm}$ $As \ 2D10 = 157.08$ mm^2
 $p_{max} = 0.0276$ $\phi V_c = 7999.36 \text{ kg}$
 $p_{min} = 0.004375$ $AI = 0.56 \text{ cm}^2$
 $s = 149.63 \text{ mm}$ $Av_{min} = 93.75 \text{ mm}^2$

LANTAI	No Balok	Daerah	Mu (Nmm)	Vu (kg)	Rn	pberlu	ppakai	As perlu (cm ²)	Dipakai	Aspakai (cm ²)	CEK	Vu- ϕ Vc (kg)	Avperlu (mm ²)	s pakai	Avpakai (mm ²)
9	BA - 1	Tump.	236502100	15161.03	3.411	0.01171	0.01638	26.4128	6	29.46	OK	7161.7	62.3024	ϕ 10-100	1570.8
		Lap.	236502100	0	0.512	0.00162	0.00162	17.4031	5	24.55	OK		praktis	ϕ 10-200	785.4
	BA - 2	Tump.	333086500	17793.81	4.804	0.0173	0.01637	26.3966	6	29.46	OK	9794.5	85.206	ϕ 10-100	1570.8
		Lap.	277572100	0	0.6	0.0019	0.0019	20.4705	5	24.55	OK		praktis	ϕ 10-200	785.4
	BA - 3	Tump.	257037100	16477.42	3.707	0.01285	0.01489	24.0101	5	24.55	OK	8478.1	73.7542	ϕ 10-100	1570.8
		Lap.	257037100	0	0.556	0.00176	0.00176	18.9351	5	24.55	OK		praktis	ϕ 10-200	785.4
10	BA - 1	Tump.	214454300	13747.39	3.093	0.01051	0.01348	21.7365	5	24.55	OK	5748	50.0045	ϕ 10-100	1570.8
		Lap.	214454300	0	0.464	0.00147	0.00147	15.7621	5	24.55	OK		praktis	ϕ 10-200	785.4
	BA - 2	Tump.	306629200	16380.17	4.422	0.01571	0.01546	24.9293	6	29.46	OK	8380.8	72.9082	ϕ 10-100	1570.8
		Lap.	255624333	0	0.553	0.00175	0.00175	18.8222	5	24.55	OK		praktis	ϕ 10-200	785.4
	BA - 3	Tump.	232375400	14896.17	3.351	0.01148	0.0133	21.4463	5	24.55	OK	6896.8	59.9982	ϕ 10-100	1570.8
		Lap.	232375400	0	0.503	0.00159	0.00159	17.0957	5	24.55	OK		praktis	ϕ 10-200	785.4

PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK LANTAI I

fc	29.18	Mpa	p max	0.02457	δ	0.50		
fy	390	Mpa	p min	0.00359	decking	50.00	As D32	804
D	32	mm	b	600	d	722.00		
D begel	12	mm	h	800	d'	78.00		

As	Balok	Daerah	Mu kNm	Rn	p	p'	As perlu		Pasang tulangan		As ada		cek
							As	As'	As	As'	As	As'	
A	BI 1'-1 = BI 4-4'	tump-	787.90	3.15	0.00866	0.00433	3753	1877	6	3	4823	2412	ok
		lap-	315.46	1.26	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
A	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	1624.28	6.49	0.01969	0.00985	8532	4266	11	6	8842	4823	ok
		tump+	1145.24	4.58	0.01308	0.00654	5667	2833	8	4	6431	3215	ok
		lap+	255.87	1.02	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1464.44	5.85	0.01738	0.00869	7530	3765	10	5	8038	4019	ok
		tump+	1094.41	4.37	0.01243	0.00621	5385	2692	7	4	5627	3215	ok
A	BI 2-3	tump-	1502.96	6.01	0.01793	0.00896	7767	3883	10	5	8038	4019	ok
		tump+	1099.41	4.39	0.01249	0.00625	5412	2706	7	4	5627	3215	ok
		lap+	258.14	1.03	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1566.05	6.26	0.01884	0.00942	8161	4080	11	6	8842	4823	ok
		tump+	1123.84	4.49	0.01280	0.00640	5546	2773	7	4	5627	3215	ok
B	BI 1'-1 = BI 4-4'	tump-	1394.66	5.57	0.01641	0.00820	7108	3554	9	5	7235	4019	ok
		lap-	585.64	2.34	0.00631	0.00316	2736	1368	4	2	3215	1608	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
B	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	1682.07	6.72	0.02056	0.01028	8907	4453	12	6	9646	4823	ok
		tump+	1187.44	4.75	0.01363	0.00681	5904	2952	8	4	6431	3215	ok
		lap+	439.08	1.75	0.00467	0.00234	2023	1012	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1920.02	7.67	0.02433	0.01216	10539	5270	14	7	11254	5627	ok
		tump+	1110.42	4.44	0.01263	0.00632	5473	2737	7	4	5627	3215	ok
B	BI 2-3	tump-	1621.55	6.48	0.01965	0.00983	8514	4257	11	6	8842	4823	ok
		tump+	1013.29	4.05	0.01141	0.00570	4941	2471	7	4	5627	3215	ok
		lap+	459.69	1.84	0.00490	0.00245	2122	1061	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1670.51	6.68	0.02039	0.01019	8831	4418	11	6	8842	4823	ok
		tump+	1022.17	4.09	0.01152	0.00576	4989	2495	7	4	5627	3215	ok
C	BI 1'-1 = BI 4-4'	tump-	1394.66	5.57	0.01641	0.00820	7108	3554	9	5	7235	4019	ok
		lap-	585.64	2.34	0.00631	0.00316	2736	1368	4	2	3215	1608	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
C	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	1671.17	6.68	0.02040	0.01020	8836	4418	12	6	9646	4823	ok
		tump+	1156.01	4.62	0.01322	0.00661	5727	2864	8	4	6431	3215	ok
		lap+	437.77	1.75	0.00466	0.00233	2017	1009	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1899.80	7.59	0.02399	0.01200	10395	5197	13	7	10450	5627	ok
		tump+	1107.37	4.43	0.01259	0.00630	5456	2728	7	4	5627	3215	ok
C	BI 2-3	tump-	1627.01	6.50	0.01973	0.00987	8549	4275	11	6	8842	4823	ok
		tump+	1027.21	4.11	0.01158	0.00579	5017	2508	7	4	5627	3215	ok
		lap+	461.09	1.84	0.00491	0.00246	2129	1065	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1694.08	6.77	0.02074	0.01037	8986	4493	12	6	9646	4823	ok
		tump+	1040.81	4.16	0.01175	0.00588	5091	2545	7	4	5627	3215	ok

PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK LANTAI 2 S/D 8

fc	29.18	Mpa	p max	0.02457	δ	0.50		
fy	390	Mpa	p min	0.00359	decking	50.00	As D32	804
D	32	mm	b	600	d	722.00		
D begel	12	mm	h	800	d'	78.00		

As	Balok	Daerah	Mu kNm	Rn	p	p'	As perlu		Pasang tulangan		As ada		cek
							As	As'	As	As'	As	As'	
A	BI 1'-1 = BI 4-4'	tump-	536.75	2.15	0.00576	0.00288	2496	1248	4	2	3215	1608	ok
		lap-	205.18	0.82	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
A	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	1693.87	6.77	0.02074	0.01037	8984	4492	12	6	9646	4823	ok
		tump+	1393.80	5.57	0.01640	0.00820	7103	3552	9	5	7235	4019	ok
		lap+	175.80	0.70	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1772.31	7.08	0.02195	0.01097	9509	4754	12	6	9646	4823	ok
		tump+	1336.63	5.34	0.01561	0.00781	6764	3382	9	5	7235	4019	ok
A	BI 2-3	ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump -	77.67	0.31	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump -	259.44	1.04	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
B	BI 1'-1 = BI 4-4'	tump-	1064.38	4.25	0.01205	0.00602	5219	2610	7	3	5627	2412	ok
		lap-	451.06	1.80	0.00480	0.00240	2081	1040	3	2	2412	1608	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
B	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	1683.72	6.73	0.02059	0.01029	8918	4459	12	6	9646	4823	ok
		tump+	1235.59	4.94	0.01426	0.00713	6178	3089	8	4	6431	3215	ok
		lap+	282.18	1.13	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1857.14	7.42	0.02330	0.01165	10093	5047	13	7	10450	5627	ok
		tump+	1241.59	4.96	0.01434	0.00717	6212	3106	8	4	6431	3215	ok
B	BI 2-3	tump-	1038.77	4.15	0.01173	0.00586	5080	2540	7	4	5627	3215	ok
		tump+	853.56	3.41	0.00945	0.00472	4093	2047	6	3	4823	2412	ok
		lap+	146.88	0.59	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1289.32	5.07	0.01471	0.00735	6372	3186	8	4	6431	3215	ok
		tump+	917.73	3.67	0.01023	0.00511	4430	2215	7	4	5627	3215	ok
C	BI 1'-1 = BI 4-4'	tump-	536.75	2.15	0.00576	0.00288	2496	1248	4	2	3215	1608	ok
		lap-	205.18	0.82	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
C	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	1805.01	7.21	0.02248	0.01123	9732	4866	13	7	10450	5627	ok
		tump+	1333.47	5.33	0.01557	0.00779	6745	3373	9	5	7235	4019	ok
		lap+	285.28	1.14	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump-	1870.65	7.48	0.02352	0.01176	10188	5094	13	7	10450	5627	ok
		tump+	1287.96	5.15	0.01496	0.00748	6480	3240	9	5	7235	4019	ok
C	BI 2-3	ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump -	237.54	0.95	0.00369	0.00179	1555	778	3	2	2412	1608	ok
		tump -	614.94	2.46	0.00665	0.00332	2880	1440	4	2	3215	1608	ok

PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK LANTAI 9

fc	29.18	Mpa	p max	0.02457	δ	0.50		
fy	390	Mpa	p min	0.00359	decking	50.00	As D25	491
D	25	mm	b	600	d	722.00		
D begel	12	mm	h	800	d'	78.00		

As	Balok	Daerah	Mu kNm	Rn	p	p'	As perlu		Pasang tulangan		As ada		cek
							As	As'	As	As'	As	As'	
A	BI 1'-1 = BI4-4'	tump-	681.26	2.72	0.00741	0.00371	3211	1606	7	4	3434	1963	ok
		lap-	270.86	1.08	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
A	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	295.37	1.18	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	203.22	0.81	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	451.22	1.80	0.00481	0.00240	2082	1041	5	3	2453	1472	ok
A	BI 2-3	tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	538.11	2.15	0.00578	0.00289	2502	1251	6	3	2944	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	216.86	0.87	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
A	BI 2-3	tump-	570.55	2.28	0.00614	0.00307	2661	1331	6	3	2944	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
B	BI 1'-1 = BI4-4'	tump-	1181.26	4.72	0.01355	0.00677	5869	2935	12	6	5888	2944	ok
		lap-	496.41	1.98	0.00531	0.00265	2300	1150	5	3	2453	1472	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
B	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	442.30	1.77	0.00471	0.00235	2039	1019	5	3	2453	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	352.44	1.41	0.00372	0.00186	1612	806	4	2	1963	981	ok
		tump-	652.79	2.61	0.00708	0.00354	3069	1534	7	4	3434	1963	ok
B	BI 2-3	tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	529.10	2.11	0.00568	0.00284	2458	1229	6	3	2944	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	374.96	1.50	0.00397	0.00198	1718	859	4	2	1963	981	ok
B	BI 2-3	tump-	579.08	2.31	0.00624	0.00312	2703	1352	6	3	2944	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
C	BI 1'-1 = BI4-4'	tump-	1181.26	4.72	0.01355	0.00677	5869	2935	12	6	5888	2944	ok
		lap-	496.41	1.98	0.00531	0.00265	2300	1150	5	3	2453	1472	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
C	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	419.03	1.67	0.00445	0.00222	1928	964	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	351.39	1.40	0.00371	0.00185	1607	803	4	2	1963	981	ok
		tump-	591.73	2.36	0.00638	0.00319	2766	1383	6	3	2944	1472	ok
C	BI 2-3	tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	634.33	2.54	0.00687	0.00344	2977	1488	7	4	3434	1963	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	371.74	1.49	0.00393	0.00197	1703	851	4	2	1963	981	ok
C	BI 2-3	tump-	689.97	2.76	0.00751	0.00376	3255	1628	7	4	3434	1963	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok

PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK LANTAI 10

fc	29.18	Mpa	p max	0.02457	δ	0.50		
fy	390	Mpa	p min	0.00359	decking	50.00	As D25	491
D	25	mm	b	600	d	722.00		
D begel	12	mm	h	800	d'	78.00		

As	Balok	Daerah	Mu kNm	Rn	p	p'	As perlu		Pasang tulangan		As ada		cek
							As	As'	As	As'	As	As'	
A	BI 1'-1 = BI4-4'	tump-	573.47	2.29	0.00618	0.00309	2676	1338	6	3	2944	1472	ok
		lap-	220.45	0.88	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
A	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	335.78	1.34	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	171.26	0.68	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	42.58	0.17	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
A	BI 2-3	tump-	256.83	1.03	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	213.40	0.85	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	286.89	1.15	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
B	BI 1'-1 = BI4-4'	tump-	965.98	3.86	0.01082	0.00541	4687	2343	10	5	4906	2453	ok
		lap-	395.67	1.58	0.00419	0.00210	1816	908	4	2	1963	981	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
B	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	364.15	1.46	0.00385	0.00192	1667	833	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	289.96	1.16	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	610.54	2.44	0.00660	0.00330	2859	1429	6	3	2944	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
B	BI 2-3	tump-	399.39	1.60	0.00423	0.00212	1834	917	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	358.92	1.43	0.00379	0.00190	1642	821	4	2	1963	981	ok
		tump-	437.37	1.75	0.00465	0.00233	2015	1008	5	3	2453	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
C	BI 1'-1 = BI4-4'	tump-	965.98	3.86	0.01082	0.00541	4687	2343	10	5	4906	2453	ok
		lap-	395.67	1.58	0.00419	0.00210	1816	908	4	2	1963	981	ok
		ujung	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
C	BI 1-2 = BI 3-4	tump-	427.44	1.71	0.00454	0.00227	1968	984	5	3	2453	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	287.90	1.15	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		tump-	584.06	2.33	0.00630	0.00315	2728	1364	6	3	2944	1472	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
C	BI 2-3	tump-	389.23	1.56	0.00412	0.00206	1786	893	4	2	1963	981	ok
		tump+	0.00	0.00	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok
		lap+	355.47	1.42	0.00375	0.00188	1626	813	4	2	1963	981	ok
		tump-	454.00	1.81	0.00484	0.00242	2095	1048	5	3	2453	1472	ok
		tump+	43.00	0.17	0.00359	0.00179	1555	778	4	2	1963	981	ok

PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA KOLOM

$f_c' = 29.18 \text{ MPa}$
 $f_y = 390 \text{ Mpa}$
 Tulangan utama = D 32
 As 1 D 32 : 804.25 mm²

Kolom	Dimensi		Mu-x kNm	Mu-y kNm	Mu _o Nm	Pu N	Kx	Ky	ρ %	Asl (mm ²)	Pakai		As ada (mm ²)	Kontrol
	b (mm)	h (mm)									n	D		
K1	800	800	1202.25	272.23	1348845.9	5428710	2.63	8.48	1	6400	16	25	7850	ok
K2	800	800	1223.27	447.64	1464324.1	8540750	2.86	13.34	1	6400	16	25	7850	ok
K3	800	800	1214.57	419.78	1440621.5	8602570	2.81	13.44	1	6400	16	25	7850	ok
K4	800	800	1218.35	418.59	1443760.7	8528630	2.82	13.32	1	6400	16	25	7850	ok
K5	800	800	1998.82	273.9	2146315.2	6410100	4.19	10.02	3	19200	24	32	19292.16	ok
K6	800	800	2058.61	448.88	2300331.9	9853740	4.49	15.40	3	19200	24	32	19292.16	ok
K7	800	800	2008.07	420.25	2234374.6	8924020	4.36	13.94	3	19200	24	32	19292.16	ok
K8	800	800	2027.2	419.14	2252906.9	8307770	4.40	12.98	3	19200	24	32	19292.16	ok
K9	800	800	1601.63	271.78	1747983.5	6797840	3.41	10.62	2	12800	24	28	14770.56	ok
K10	800	800	1786.08	445.76	2026121.8	10482120	3.96	16.38	2	12800	24	28	14770.56	ok
K11	800	800	1640.32	442.93	1878837.8	9984020	3.67	15.60	2	12800	24	28	14770.56	ok
K12	800	800	1640.84	443.15	1879476.3	9292580	3.67	14.52	2	12800	24	28	14770.56	ok
K13	800	800	971.62	267.98	1115927.2	5676330	2.18	8.87	1	6400	16	25	7850	ok
K14	800	800	994.96	443.35	1233704	8473340	2.41	13.24	1	6400	16	25	7850	ok
K15	800	800	998.77	440.04	1235731.5	9442580	2.41	14.75	1	6400	16	25	7850	ok
K16	800	800	1009.33	440.18	1246366.9	9411450	2.43	14.71	1	6400	16	25	7850	ok

PERHITUNGAN GESER KOLOM

$f_c' = 29.18 \text{ MPa}$
 $f_y = 390 \text{ Mpa}$

Kolom	Dimensi		$V_{x,k}$ N	$V_{y,k}$ N	V_u desain N	N_u N	ϕV_c N	$0.5\phi V_c$ N	ϕV_s N	S perlu	Tulangan geser mm
	b (mm)	h (mm)									
K1	800	800	361530	221490	423983	5428710	916169	458084	-492185	tul.min	$\phi 12 - 100$
K2	800	800	377090	325360	498052	8540750	1114321	557160	-616269	tul.min	$\phi 12 - 100$
K3	800	800	364310	151460	394540	8602570	1118257	559129	-723717	tul.min	$\phi 12 - 100$
K4	800	800	363440	150840	393499	8526630	1113422	556711	-719923	tul.min	$\phi 12 - 100$
K5	800	800	1034860	300560	1077623	6410100	978656	489328	98967	tul.perlu	$\phi 12 - 100$
K6	800	800	1333830	328230	1373622	9853740	1197923	598961	175699	tul.perlu	$\phi 12 - 100$
K7	800	800	926050	151780	938406	8924020	1138725	569362	-200319	tul.min	$\phi 12 - 100$
K8	800	800	951900	151060	963812	8307770	1099486	549743	-135675	tul.min	$\phi 12 - 100$
K9	800	800	851520	159960	866414	6797840	1003345	501672	-136931	tul.min	$\phi 12 - 100$
K10	800	800	1122210	260280	1151999	10482120	1237933	618967	-85935	tul.min	$\phi 12 - 100$
K11	800	800	870190	259180	907967	9984020	1206218	603109	-298250	tul.min	$\phi 12 - 100$
K12	800	800	846640	258970	885361	9292580	1162192	581096	-276831	tul.min	$\phi 12 - 100$
K13	800	800	563720	144200	581871	5676330	931935	465968	-350064	tul.min	$\phi 12 - 100$
K14	800	800	567230	259460	623754	8473340	1110029	555014	-486274	tul.min	$\phi 12 - 100$
K15	800	800	578800	257660	633560	9442580	1171743	585871	-538183	tul.min	$\phi 12 - 100$
K16	800	800	585690	257740	639893	9411450	1169761	584880	-529868	tul.min	$\phi 12 - 100$

TABEL 7.1 ANALISA KEBUTUHAN TIANG BERDASARKAN BEBAN KERJA

Diameter tiang = 60 cm

Daya dukung satu tiang = 164.7028 ton

ELEMEN	P Ton	Mx Ton.m	My Ton.m	l m	b m	t m	Xmax m	Ymax m	Pile buah	Diameter cm	ΣX^2 m ²	ΣY^2 m ²	P max Ton	P ult Ton	eff	P allow Ton
P1	566.07	78.58	29.07	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	104.332012	164.00	0.84	137.43
P2	826.22	83.46	26.99	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	112.64951	164.00	0.78	127.20
P3	831.05	84.29	27.05	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	113.25328	164.00	0.78	127.20
P4	825.49	85.14	27.05	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	112.699697	164.00	0.78	127.20
P5	832.71	85.88	27.07	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	113.560547	164.00	0.78	127.20
P6	829.79	86.63	26.60	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	113.256889	164.00	0.78	127.20
P7	569.01	83.34	20.77	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	104.725369	164.00	0.84	137.43
P8	595.96	80.95	28.62	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	108.788149	164.00	0.84	137.43
P9	849.93	81.39	27.07	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	128.497945	164.00	0.78	127.20
P10	809.59	82.63	26.81	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	123.529227	164.00	0.78	127.20
P11	778.88	83.53	27.00	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	119.773105	164.00	0.78	127.20
P12	810.20	84.36	27.22	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	123.767322	164.00	0.78	127.20
P13	850.75	84.84	26.43	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	128.812593	164.00	0.78	127.20
P14	599.03	86.15	21.14	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	109.281125	164.00	0.84	137.43
P15	635.12	82.97	29.10	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	114.582956	164.00	0.84	137.43
P16	886.71	81.65	26.80	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	133.094579	164.00	0.78	127.20
P17	899.59	84.39	27.40	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	134.957637	164.00	0.78	127.20
P18	863.49	84.80	26.78	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	130.429043	164.00	0.78	127.20
P19	900.45	86.00	26.15	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	135.092572	164.00	0.78	127.20
P20	886.97	84.79	26.83	6	6	1.3	2.2	2.2	8	60	29.04	29.04	133.367536	164.00	0.78	127.20
P21	638.98	87.80	20.77	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	115.113334	164.00	0.84	137.43
P22	596.20	70.82	30.73	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	108.043315	164.00	0.84	137.43
P23	827.36	72.32	25.98	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	111.855805	164.00	0.78	127.20
P24	905.38	65.50	26.96	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	120.082175	164.00	0.78	127.20
P25	903.27	66.07	26.83	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	119.881792	164.00	0.78	127.20
P26	907.30	66.91	26.70	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	120.382252	164.00	0.78	127.20
P27	831.14	75.16	27.76	6	6	1.3	2.2	2.2	9	60	29.04	29.04	112.625681	164.00	0.78	127.20
P28	600.04	75.06	19.27	5.4	6.24	1.3	1.9	3.12	7	60	21.66	58.4064	108.351645	164.00	0.84	137.43

TULANGAN LENTUR POER

F_c = 30 MPa

F_y = 320 MPa

ELEMEN	Mu-x Ton m	Mu-y Ton m	Rn-x	Rn-y	p min	p-x	p-y	p-x pak	p-y pak	As-x per. mm ²	As-y per. mm ²	Tul. X pakel n	Tul. X pakel D	Tul. Y pakel n	Tul. Y pakel D	As-x ade mm ²	As-y ada mm ²	CEK X	CEK Y
P1	643.29	1037.10	1.18	1.72	0.00438	0.00377	0.00557	0.00438	0.00557	26555	38197	34	32	48	32	27331	38584	OK	OK
P2	267.05	241.60	0.43	0.41	0.00438	0.00136	0.00128	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P3	242.98	242.98	0.39	0.41	0.00438	0.00123	0.00129	0.00438	0.00438	29859	29203	45	32	38	32	36173	30546	OK	OK
P4	241.71	241.71	0.39	0.41	0.00438	0.00123	0.00128	0.00438	0.00438	29859	29203	42	32	45	32	33761	36173	OK	OK
P5	234.87	432.95	0.38	0.73	0.00438	0.00119	0.00231	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	40	32	32154	32154	OK	OK
P6	234.18	431.78	0.38	0.73	0.00438	0.00119	0.00230	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	40	32	32154	32154	OK	OK
P7	214.90	398.85	0.38	0.65	0.00438	0.00121	0.00204	0.00438	0.00438	31054	30371	40	32	40	32	32154	32154	OK	OK
P8	232.86	232.86	0.42	0.38	0.00438	0.00131	0.00119	0.00438	0.00438	26873	30371	40	32	40	32	32154	32154	OK	OK
P9	589.01	589.01	0.95	0.99	0.00438	0.00302	0.00302	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P10	565.16	565.16	0.91	0.95	0.00438	0.00290	0.00303	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P11	547.13	547.13	0.88	0.92	0.00438	0.00280	0.00283	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P12	586.30	586.30	0.91	0.95	0.00438	0.00290	0.00304	0.00438	0.00438	29859	29203	45	32	38	32	36173	30546	OK	OK
P13	269.34	491.83	0.43	0.83	0.00438	0.00137	0.00263	0.00438	0.00438	29859	29203	45	32	38	32	36173	30546	OK	OK
P14	233.98	233.98	0.42	0.38	0.00438	0.00132	0.00119	0.00438	0.00438	26873	30371	44	32	38	32	35369	30546	OK	OK
P15	522.22	522.22	0.93	0.85	0.00438	0.00298	0.00269	0.00438	0.00438	26873	30371	34	32	38	32	27331	30546	OK	OK
P16	611.07	611.07	0.98	1.03	0.00438	0.00314	0.00328	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P17	620.01	620.01	1.00	1.04	0.00438	0.00318	0.00333	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P18	598.28	598.28	0.96	1.01	0.00438	0.00307	0.00321	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P19	620.66	620.66	1.00	1.04	0.00438	0.00319	0.00333	0.00438	0.00438	29859	29203	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P20	612.38	612.38	0.99	1.03	0.00438	0.00314	0.00329	0.00438	0.00438	29859	29203	45	32	38	32	36173	30546	OK	OK
P21	238.38	438.95	0.43	0.71	0.00438	0.00134	0.00225	0.00438	0.00438	31054	30371	40	32	38	32	32154	30546	OK	OK
P22	231.19	231.19	0.41	0.37	0.00438	0.00130	0.00118	0.00438	0.00438	26873	30371	34	32	38	32	27331	30546	OK	OK
P23	509.12	509.12	0.82	0.86	0.00438	0.00260	0.00272	0.00438	0.00438	29859	29203	38	32	38	32	30546	30546	OK	OK
P24	548.61	548.61	0.88	0.92	0.00438	0.00281	0.00294	0.00438	0.00438	29859	29203	38	32	38	32	30546	30546	OK	OK
P25	547.65	547.65	0.88	0.92	0.00438	0.00280	0.00293	0.00438	0.00438	29859	29203	38	32	38	32	30546	30546	OK	OK
P26	550.05	550.05	0.89	0.93	0.00438	0.00282	0.00295	0.00438	0.00438	29859	29203	38	32	38	32	30546	30546	OK	OK
P27	512.82	512.82	0.83	0.86	0.00438	0.00262	0.00274	0.00438	0.00438	29859	29203	38	32	38	32	30546	31350	OK	OK
P28	492.30	492.30	0.88	0.80	0.00438	0.00280	0.00253	0.00438	0.00438	26873	30371	34	32	40	32	27331	32154	OK	OK

PERENCANAAN POER
KONTROL GESER PONS

ELEMEN	Pu Ton	h mm	b mm	dc mm	Tulangan mm	d' mm	bo mm	β	Vc1 N	Vc2 N	Vc N	Vh N	Cek
P1	461.738208	1300	5400	150	25	1124	7596	1	20706384.1	13804389.4	13804389.4	7695636.8	OK
P2	713.57088	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11892848	OK
P3	717.79338	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11563223	OK
P4	712.786903	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11879781.7	OK
P5	719.153453	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11985890.9	OK
P6	716.528761	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11942146	OK
P7	464.279791	1300	5400	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	7737986.51	OK
P8	487.173271	1300	5400	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	8119554.52	OK
P9	721.431225	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	12023853.8	OK
P10	686.058443	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11434307.4	OK
P11	659.104675	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	10985077.9	OK
P12	686.429528	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11440492.1	OK
P13	721.933148	1300	6000	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	12032219.1	OK
P14	489.749985	1300	5400	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	8162499.75	OK
P15	520.538084	1300	5400	100	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	8675634.74	OK
P16	753.617981	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	12560299.7	OK
P17	764.629153	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	12743819.2	OK
P18	733.063007	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	12217716.8	OK
P19	765.359198	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	12755986.6	OK
P20	753.605724	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	12560095.4	OK
P21	523.870616	1300	5400	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	8731176.94	OK
P22	488.153585	1300	5400	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	8135892.75	OK
P23	715.501435	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11925023.9	OK
P24	785.295845	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	13088264.1	OK
P25	783.391568	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	13056526.1	OK
P26	786.914608	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	13115243.5	OK
P27	718.512949	1300	6000	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	11975215.8	OK
P28	491.684295	1300	5400	60	25	1137.5	8050	1	22209227.8	14806151.8	14806151.8	8194738.25	OK

PENULANGAN LENTUR SLOOF

Fy = 320 MPa Fc' = 24.61 MPa

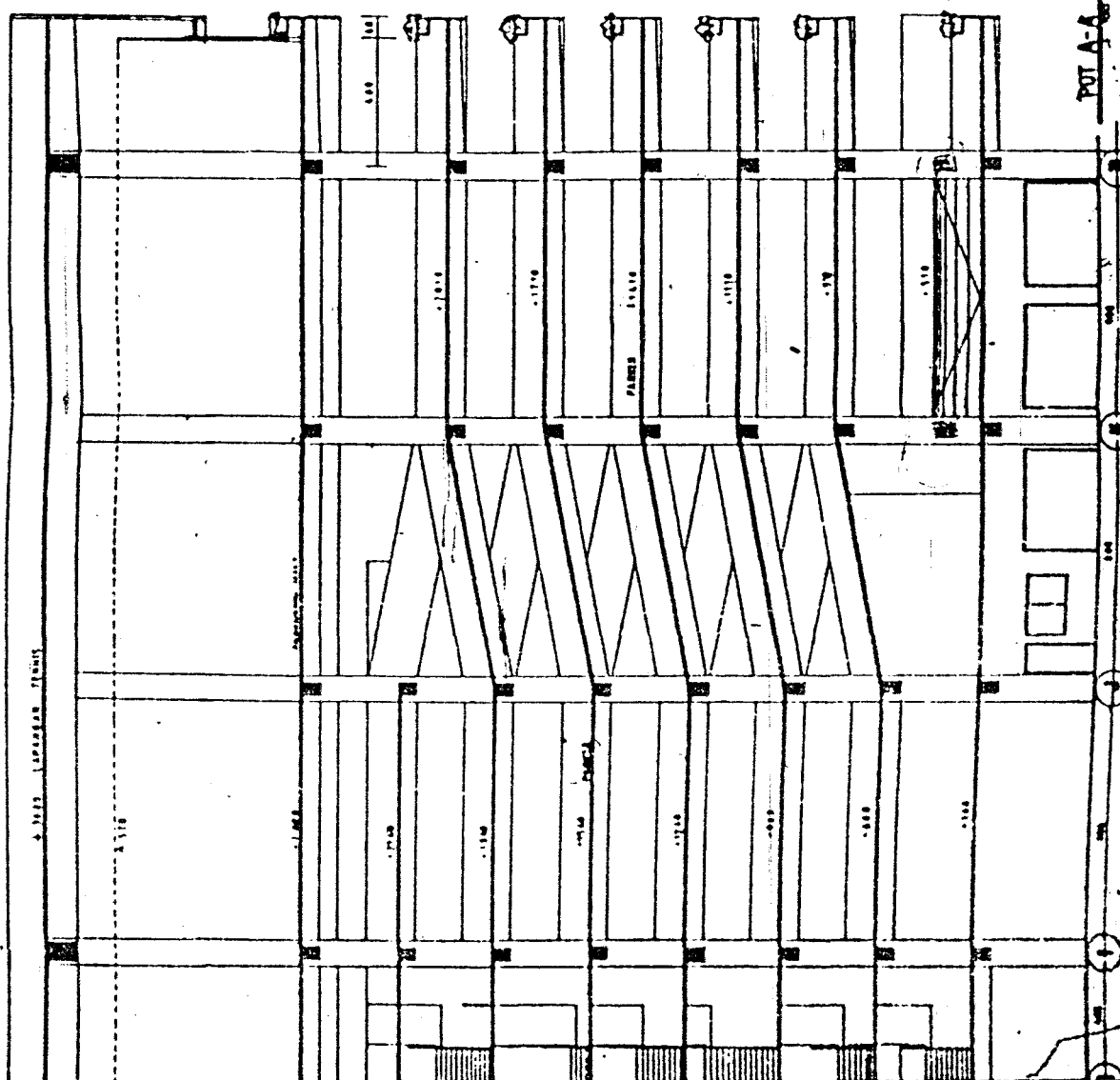
ELEMEN SLOOF	Daerah	Momen Kg.m	bw mm	h mm	dc mm	Pu N	Pu/Ag (K)	Mu/(Ag.h) (K*eh)	p	As perlu mm^2	Tulangan pakai	As ada mm^2	Cek
S1	Tump.	7040	500	700	60	778877.78	2.2253651	0.287346939	0.01	3500	8 D25	3927.99	OK
	Lap.	14080	500	700	50	778877.78	2.2253651	0.574693878	0.01	3500	8 D25	3927.99	OK
	Tump.	7040	500	700	50	778877.78	2.2253651	0.287346939	0.01	3500	8 D25	3927.99	OK
S2	Tump.	15840	500	700	50	827357.24	2.3638778	0.646530612	0.01	3500	8 D25	3927.99	OK
	Lap.	31680	500	700	50	827357.24	2.3638778	1.293061224	0.01	3500	8 D25	3927.99	OK
	Tump.	15840	500	700	50	827357.24	2.3638778	0.646530612	0.01	3500	8 D25	3927.99	OK

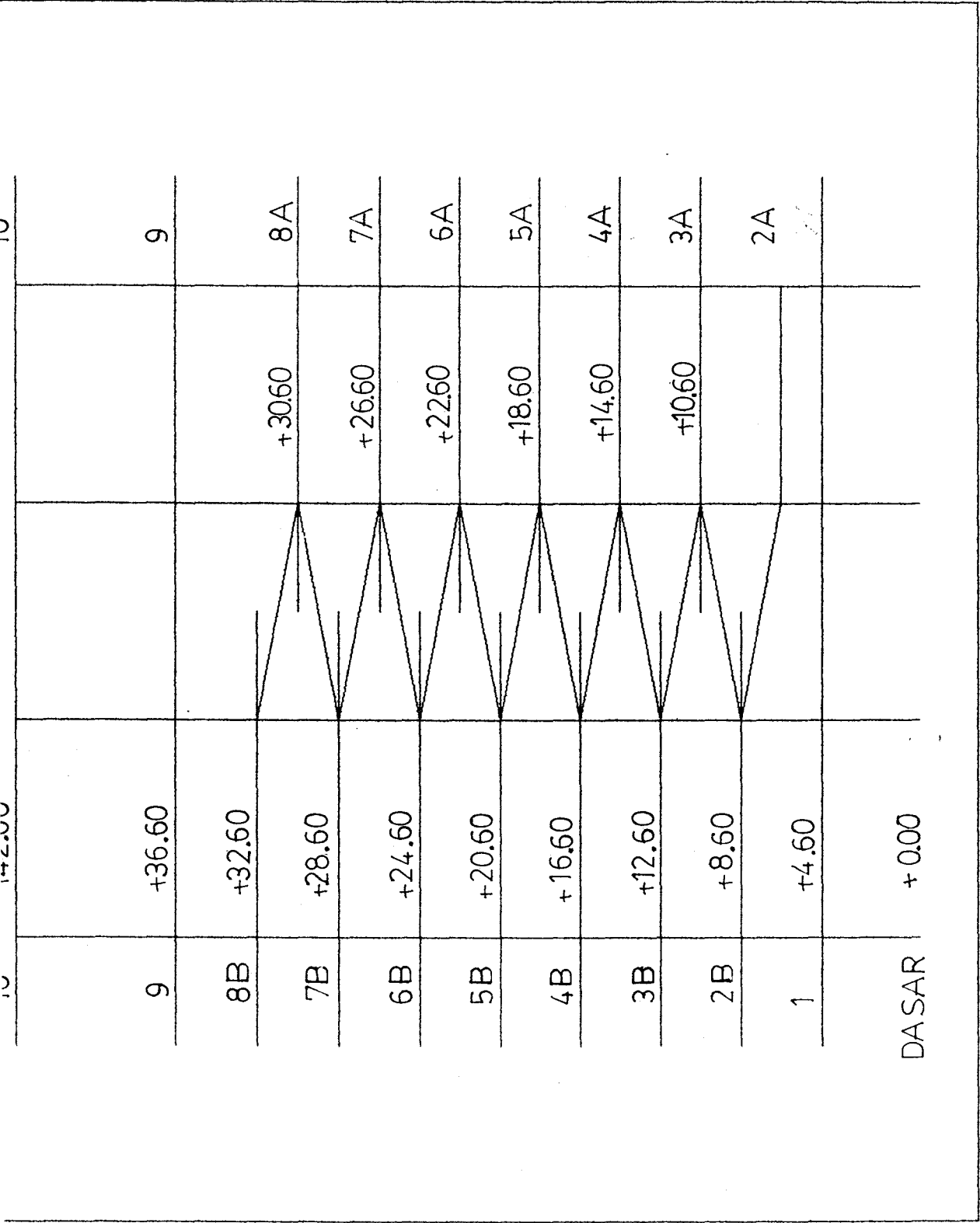
PENULANGAN GESER DAN TORSI SLOOF

$F_y = 320 \text{ MPa}$ $\phi \text{ begel} = 10 \text{ mm}$
 $F_c' = 24.61 \text{ MPa}$ $\phi \text{ tul. utama} = 25 \text{ mm}$

ELEMEN SLOOF	Daerah	bw mm	h mm	Vu Kg	d mm	Nu N	ϕV_c Kg	Cek $V_u < \phi V_c$	Dipakai Tulangan
S1	Tump.	500	700	10560	627.5	778877.8	19916.4	OK	$\phi 10 - 200$
	Lap.	500	700	5280	627.5	778877.8	19916.4	OK	$\phi 10 - 200$
	Tump.	500	700	10560	627.5	778877.8	19916.4	OK	$\phi 10 - 200$
S2	Tump.	500	700	15840	627.5	827357.2	20086.42	OK	$\phi 10 - 200$
	Lap.	500	700	7920	627.5	827357.2	20086.42	OK	$\phi 10 - 200$
	Tump.	500	700	15840	627.5	827357.2	20086.42	OK	$\phi 10 - 200$

Between Lawyers & Congress
A nation's future hangs
in the balance.

[illegible]



SA GEDUNG PARKIR 10 LANTAI (KN-M)
SIGN : BUDI HARIYANTO
R.P. : 3191.100.059
M
=9 T=0.0001
S

LANTAI DASAR (+0.00)

X=0	Y=0	Z=+0.00	
X=48		G=1 7 1	
X=0	Y=24	G=1 31 10	F=1 6 3 1 10

LANTAI 1 (+3.60)

X=0	Y=0	Z=+3.60	
X=48		G=101 107 1	
X=0	Y=24	G=101 131 10	F=101 6 3 1 10
X=0	Y=-4		
X=48		G=141 147 1	
X=0	Y=28	F=141 6 1 1 30	

LANTAI 2A (+5.10)

X=0	Y=0	Z=+5.10	
X=48		G=201 207 1	
X=0	Y=8	F=201 6 1 1 10	
X=2	Y=8		
X=14			
X=34			
X=46			
X=2	Y=0		
X=46			

LANTAI 2B (+6.60)

X=0	Y=16	Z=+6.60	
X=48		G=221 227 1	
X=0	Y=24	F=221 6 1 1 10	
X=0	Y=12		
X=48		G=261 267 1	
X=0	Y=28	F=261 6 1 1 10	
X=2	Y=16		
X=14			
X=34			
X=46			

LANTAI 3A (+8.10)

X=0	Y=0	Z=+8.10	
X=48		G=301 307 1	
X=0	Y=8	F=301 6 1 1 10	
X=0	Y=-4		
X=48		G=341 347 1	
X=0	Y=12	F=341 6 1 1 10	
X=2	Y=8		
X=14			
X=34			
X=46			

ANTAI 3B (+9.60)
 X=0 Y=16 Z=+9.60
 X=48 G=321 327 1
 X=0 Y=24 F=321 6 1 1 10
 X=0 Y=12
 X=48 G=361 367 1
 X=0 Y=28 F=361 6 1 1 10
 X=2 Y=16
 X=14
 X=34
 X=46

ANTAI 4A (+11.10)
 X=0 Y=0 Z=+11.10
 X=48 G=401 407 1
 X=0 Y=8 F=401 6 1 1 10
 X=0 Y=-4
 X=48 G=441 447 1
 X=0 Y=12 F=441 6 1 1 10
 X=2 Y=8
 X=14
 X=34
 X=46

ANTAI 4B (+12.60)
 X=0 Y=16 Z=+12.60
 X=48 G=421 427 1
 X=0 Y=24 F=421 6 1 1 10
 X=0 Y=12
 X=48 G=461 467 1
 X=0 Y=28 F=461 6 1 1 10
 X=2 Y=16
 X=14
 X=34
 X=46

ANTAI 5A (+14.10)
 X=0 Y=0 Z=+14.10
 X=48 G=501 507 1
 X=0 Y=8 F=501 6 1 1 10
 X=0 Y=-4
 X=48 G=541 547 1
 X=0 Y=12 F=541 6 1 1 10
 X=2 Y=8
 X=14
 X=34
 X=46

LANTAI 5B (+15.60)

1	X=0	Y=16	Z=+15.60
7	X=48		G=521 527 1
1	X=0	Y=24	F=521 6 1 1 10
1	X=0	Y=12	
7	X=48		G=561 567 1
1	X=0	Y=28	F=561 6 1 1 10
1	X=2	Y=16	
2	X=14		
5	X=34		
6	X=46		

LANTAI 6A (+17.10)

1	X=0	Y=0	Z=+17.10
7	X=48		G=601 607 1
1	X=0	Y=8	F=601 6 1 1 10
1	X=0	Y=-4	
7	X=48		G=641 647 1
1	X=0	Y=12	F=641 6 1 1 10
1	X=2	Y=8	
2	X=14		
5	X=34		
6	X=46		

LANTAI 6B (+18.60)

1	X=0	Y=16	Z=+18.60
7	X=48		G=621 627 1
1	X=0	Y=24	F=621 6 1 1 10
1	X=0	Y=12	
7	X=48		G=661 667 1
1	X=0	Y=28	F=661 6 1 1 10
1	X=2	Y=16	
2	X=14		
5	X=34		
6	X=46		

LANTAI 7A (+20.10)

1	X=0	Y=0	Z=+20.10
7	X=48		G=701 707 1
1	X=0	Y=8	F=701 6 1 1 10
1	X=0	Y=-4	
7	X=48		G=741 747 1
1	X=0	Y=12	F=741 6 1 1 10
1	X=2	Y=8	
2	X=14		
5	X=34		
6	X=46		

LANTAI 7B (+21.60)

X=0	Y=16	Z=+21.60
X=48		G=721 727 1
X=0	Y=24	F=721 6 1 1 10
X=0	Y=12	
X=48		G=761 767 1
X=0	Y=28	F=761 6 1 1 10
X=2	Y=16	
X=14		
X=34		
X=46		

LANTAI 8A (+23.10)

X=0	Y=0	Z=+23.10
X=48		G=801 807 1
X=0	Y=8	F=801 6 1 1 10
X=0	Y=-4	
X=48		G=841 847 1
X=0	Y=12	F=841 6 1 1 10
X=2	Y=8	
X=14		
X=34		
X=46		

LANTAI 8B (+24.60)

X=0	Y=16	Z=+24.60
X=48		G=821 827 1
X=0	Y=24	F=821 6 1 1 10
X=0	Y=12	
X=48		G=861 867 1
X=0	Y=28	F=861 6 1 1 10
X=2	Y=16	
X=14		
X=34		
X=46		

LANTAI 9 (+27.60)

X=0	Y=0	Z=+27.60
X=48		G=901 907 1
X=0	Y=24	G=901 931 10 F=901 6 3 1 10
X=0	Y=-4	
X=48		G=941 947 1
X=0	Y=28	F=941 6 1 1 30

LANTAI 10 (+33.60)

01	X=0	Y=0	Z=+33.60
07	X=48		G=1001 1007 1
31	X=0	Y=24	G=1001 1031 10 F=1001 6 3 1 10
41	X=0	Y=-4	
47	X=48		G=1041 1047 1
71	X=0	Y=28	F=1041 6 1 1 30

ASTER JOINT

X=24.21	Y=11.80	Z=3.6
X=24.00	Y=4.04	Z=5.1
X=24.42	Y=19.57	Z=6.6
X=24.00	Y=4.04	Z=8.1
X=24.42	Y=19.57	Z=9.6
X=24.00	Y=4.04	Z=11.1
X=24.42	Y=19.57	Z=12.6
X=24.00	Y=4.04	Z=14.1
X=24.42	Y=19.57	Z=15.6
X=24.00	Y=4.04	Z=17.1
X=24.42	Y=19.57	Z=18.6
X=24.00	Y=4.04	Z=20.1
X=24.42	Y=19.57	Z=21.6
X=24.00	Y=4.04	Z=23.1
X=24.42	Y=19.57	Z=24.6
X=24.21	Y=11.80	Z=27.6
X=24.21	Y=11.80	Z=33.60

RAINTS

77 1	R=1 1 0 0 0 1
1	R=1 1 1 1 1 1
3700 100	R=0 0 1 1 1 0

ES

2100 0	M=3068.769 3068.769 0 0 0 5.47E5
3400 200	M=2162.0257 2162.0257 0 0 0 2.20E5
3500 200	M=2156.6516 2156.6516 0 0 0 2.19E5
3700 100	M=3121.378 3121.378 0 0 0 5.65E5

BE

NL=70	Z=-1	NSEC=3
-------	------	--------

MATERIAL

B=0.60	D=0.80	E=2.3316E7	W=24*0.6*0.8	: BALOK MELINTANG
B=0.50	D=0.70	E=2.3316E7	W=24*0.5*0.7	: BALOK MEMANJANG
B=0.80	D=0.80	E=2.3316E7	W=24*0.8*0.8	: KOLOM

DADING

ANTAI 1

WG=0 0 -13.13	: Q6 DL
WG=0 0 -26.26	: Q6 LL
WG=0 0 -13.13	: Q6 DL
WG=0 0 -26.26	: Q6 LL
WG=0 0 -13.13	: Q6 DL
WG=0 0 -26.26	: Q6 LL
WG=0 0 -11.34	PLD=4 -39.92 : Q5+P6 DL
WG=0 0 -26.50	PLD=4 -26.14 : Q5+P6 LL
WG=0 0 -8.45	: Q1 DL
WG=0 0 -9.55	: Q1 LL
WG=0 0 -9.55	: Q3 DL
WG=0 0 -19.10	: Q3 LL

WG=0 0 -7.26	PLD=4 -39.21	: Q2+P2 DL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q2+P2 LL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q4+P4 DL
WG=0 0 -14.32	PLD=4 -156.83	: Q4+P4 LL
WG=0 0 -7.26	PLD=4 -39.21	: Q2+P2 DL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q2+P2 LL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q4+P4 DL
WG=0 0 -14.32	PLD=4 -156.83	: Q4+P4 LL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q4+P4 DL
WG=0 0 -14.32	PLD=4 -156.83	: Q4+P4 LL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q4+P4 DL
WG=0 0 -14.32	PLD=4 -156.83	: Q4+P4 LL

LANTAI 2-8

WG=0 0 -13.13		: Q9 DL
WG=0 0 -13.13		: Q9 LL
WG=0 0 -15.72		: Q8 DL
WG=0 0 -15.72		: Q8 LL
WG=0 0 -11.14	PLD=4 -26.50	: Q7+P7 DL
WG=0 0 -11.14	PLD=4 -13.07	: Q7+P7 LL
WG=0 0 -8.45		: Q1 DL
WG=0 0 -4.77		: Q1 LL
WG=0 0 -9.55		: Q4 DL
WG=0 0 -9.55		: Q4 LL
WG=0 0 -7.26	PLD=4 -39.21	: Q2+P2 DL
WG=0 0 -3.58	PLD=4 -39.21	: Q2+P2 LL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q5+P5 DL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q5+P5 LL
WG=0 0 -6.46		: Q3 DL
WG=0 0 -2.78		: Q3 LL
WG=0 0 -11.87		: Q10 DL
WG=0 0 -8.19		: Q10 LL
WG=0 0 -7.55		: Q6 DL
WG=0 0 -7.55		: Q6 LL

LANTAI 9

WG=0 0 -16.25		: Q6 DL
WG=0 0 -16.41		: Q6 LL
WG=0 0 -14.03	PLD=4 -29.60	: Q5+P6 DL
WG=0 0 -14.17	PLD=4 -16.40	: Q5+P6 LL
WG=0 0 -9.59		: Q1 DL
WG=0 0 -5.97		: Q1 LL
WG=0 0 -11.82		: Q3 DL
WG=0 0 -11.94		: Q3 LL
WG=0 0 -8.11	PLD=4 -48.52	: Q2+P2 DL
WG=0 0 -4.48	PLD=4 -49.01	: Q2+P2 LL
WG=0 0 -8.86	PLD=4 -97.04	: Q4+P4 DL
WG=0 0 -8.95	PLD=4 -98.02	: Q4+P4 LL

ANTAI 10

WG=0 0 -16.67		: Q6 DL
WG=0 0 -13.13		: Q6 LL
WG=0 0 -14.40	PLD=4 -43.45	: Q5+P6 DL
WG=0 0 -11.34	PLD=4 -13.07	: Q5+P6 LL
WG=0 0 -9.74		: Q1 DL
WG=0 0 -4.77		: Q1 LL
WG=0 0 -12.13		: Q3 DL
WG=0 0 -9.55		: Q3 LL
WG=0 0 -8.23	PLD=4 -49.34	: Q2+P2 DL
WG=0 0 -3.58	PLD=4 -39.21	: Q2+P2 LL
WG=0 0 -9.09	PLD=4 -98.69	: Q4+P4 DL
WG=0 0 -7.16	PLD=4 -78.42	: Q4+P4 LL
WG=0 0 -11.87		: QM DL
WG=0 0 -8.19		: QM LL

===== STRUKTUR BALOK =====

BALOK LANTAI 1

101 102	M=2	LP=-2 0	NSL=1 2	G=5 1 1 1
111 112			NSL=3 4	G=1 4 4 4
112 113			NSL=5 6	G=1 4 4 4
113 114			NSL=1 2	G=1 1 1 1
121 122			NSL=3 4	G=1 4 4 4
122 123			NSL=5 6	G=1 4 4 4
123 124			NSL=1 2	G=1 1 1 1
131 132			NSL=7 8	G=1 5 5 5
132 133			NSL=1 2	G=3 1 1 1
101 111	M=1	LP=3 0	NSL=13 14	G=1 6 6 6
102 112			NSL=15 16	G=4 1 1 1
111 121			NSL=17 18	G=1 6 6 6
112 122			NSL=19 20	G=1 4 4 4
113 123			NSL=21 22	G=1 2 2 2
114 124			NSL=23 24	
121 131			NSL=13 14	G=1 6 6 6
122 132			NSL=15 16	G=4 1 1 1
141 101	M=1	LP=3 0	NSL=9 10	G=1 6 6 6
142 102			NSL=11 12	G=4 1 1 1
131 171			NSL=9 10	G=1 1 1 1
133 173			NSL=11 12	G=2 1 1 1
136 176			NSL=9 10	G=1 1 1 1

LANTAI 2A

283 281	M=2	LP=3 0		
287 286				
211 281	M=2	LP=-2 0		G=1 8 5 5
281 212				G=1 8 5 5
201 202				G=1 5 5 5

ANTAI 2B

221 291	M=2	LP=-2 0	NSL=27 28	G=1 6 4 4
291 222			NSL=27 28	G=1 6 4 4
222 292			NSL=27 28	G=1 6 4 4
292 223			NSL=27 28	G=1 6 4 4
223 224			NSL=25 26	G=1 1 1 1
231 232			NSL=29 30	G=1 5 5 5
232 233			NSL=25 26	G=3 1 1 1
221 231	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
222 232			NSL=37 38	G=4 1 1 1
261 221	M=1	LP=3 0	NSL=39 40	G=1 6 6 6
262 222			NSL=41 42	G=1 4 4 4
263 223			NSL=43 44	G=1 2 2 2
264 224			NSL=33 34	
231 271			NSL=31 32	G=1 1 1 1
233 273			NSL=33 34	G=2 1 1 1
236 276			NSL=31 32	G=1 1 1 1

ANTAI 3A

301 302	M=2	LP=-2 0	NSL=25 26	G=5 1 1 1
311 381			NSL=27 28	G=1 6 4 4
381 312			NSL=27 28	G=1 6 4 4
312 382			NSL=27 28	G=1 6 4 4
382 313			NSL=27 28	G=1 6 4 4
313 314			NSL=25 26	G=1 1 1 1
301 311	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
302 312			NSL=37 38	G=4 1 1 1
341 301	M=1	LP=3 0	NSL=31 32	G=1 6 6 6
342 302			NSL=33 34	G=4 1 1 1
311 351			NSL=39 40	G=1 6 6 6
312 352			NSL=41 42	G=1 4 4 4
313 353			NSL=43 44	G=1 2 2 2
314 354			NSL=33 34	

NTAI 3B

321 391	M=2	LP=-2 0	NSL=27 28	G=1 6 4 4
391 322			NSL=27 28	G=1 6 4 4
322 392			NSL=27 28	G=1 6 4 4
392 323			NSL=27 28	G=1 6 4 4
323 324			NSL=25 26	G=1 1 1 1
331 332			NSL=29 30	G=1 5 5 5
332 333			NSL=25 26	G=3 1 1 1
321 331	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
322 332			NSL=37 38	G=4 1 1 1
361 321	M=1	LP=3 0	NSL=39 40	G=1 6 6 6
362 322			NSL=41 42	G=1 4 4 4
363 323			NSL=43 44	G=1 2 2 2
364 324			NSL=33 34	
331 371			NSL=31 32	G=1 1 1 1
333 373			NSL=33 34	G=2 1 1 1
336 376			NSL=31 32	G=1 1 1 1

NTAI 4A

01 402	M=2	LP=-2 0	NSL=25 26	G=5 1 1 1
11 481			NSL=27 28	G=1 6 4 4
81 412			NSL=27 28	G=1 6 4 4
12 482			NSL=27 28	G=1 6 4 4
82 413			NSL=27 28	G=1 6 4 4
13 414			NSL=25 26	G=1 1 1 1
01 411	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
02 412			NSL=37 38	G=4 1 1 1
41 401	M=1	LP=3 0	NSL=31 32	G=1 6 6 6
42 402			NSL=33 34	G=4 1 1 1
11 451			NSL=39 40	G=1 6 6 6
12 452			NSL=41 42	G=1 4 4 4
13 453			NSL=43 44	G=1 2 2 2
14 454			NSL=33 34	

NTAI 4B

21 491	M=2	LP=-2 0	NSL=27 28	G=1 6 4 4
91 422			NSL=27 28	G=1 6 4 4
22 492			NSL=27 28	G=1 6 4 4
92 423			NSL=27 28	G=1 6 4 4
23 424			NSL=25 26	G=1 1 1 1
31 432			NSL=29 30	G=1 5 5 5
32 433			NSL=25 26	G=3 1 1 1
21 431	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
22 432			NSL=37 38	G=4 1 1 1
61 421	M=1	LP=3 0	NSL=39 40	G=1 6 6 6
62 422			NSL=41 42	G=1 4 4 4
63 423			NSL=43 44	G=1 2 2 2
64 424			NSL=33 34	
31 471			NSL=31 32	G=1 1 1 1
33 473			NSL=33 34	G=2 1 1 1
36 476			NSL=31 32	G=1 1 1 1

NTAI 5A

501 502	M=2	LP=-2 0	NSL=25 26	G=5 1 1 1
511 581			NSL=27 28	G=1 6 4 4
581 512			NSL=27 28	G=1 6 4 4
512 582			NSL=27 28	G=1 6 4 4
582 513			NSL=27 28	G=1 6 4 4
513 514			NSL=25 26	G=1 1 1 1
501 511	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
502 512			NSL=37 38	G=4 1 1 1
541 501	M=1	LP=3 0	NSL=31 32	G=1 6 6 6
542 502			NSL=33 34	G=4 1 1 1
511 551			NSL=39 40	G=1 6 6 6
512 552			NSL=41 42	G=1 4 4 4
513 553			NSL=43 44	G=1 2 2 2
514 554			NSL=33 34	

NTAI 5B

521 591	M=2	LP=-2 0	NSL=27 28	G=1 6 4 4
591 522			NSL=27 28	G=1 6 4 4
522 592			NSL=27 28	G=1 6 4 4
592 523			NSL=27 28	G=1 6 4 4
523 524			NSL=25 26	G=1 1 1 1
531 532			NSL=29 30	G=1 5 5 5
532 533			NSL=25 26	G=3 1 1 1

521 531	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
522 532			NSL=37 38	G=4 1 1 1
561 521	M=1	LP=3 0	NSL=39 40	G=1 6 6 6
562 522			NSL=41 42	G=1 4 4 4
563 523			NSL=43 44	G=1 2 2 2
564 524			NSL=33 34	
531 571			NSL=31 32	G=1 1 1 1
533 573			NSL=33 34	G=2 1 1 1
536 576			NSL=31 32	G=1 1 1 1

ANTAI 6A

601 602	M=2	LP=-2 0	NSL=25 26	G=5 1 1 1
611 681			NSL=27 28	G=1 6 4 4
681 612			NSL=27 28	G=1 6 4 4
612 682			NSL=27 28	G=1 6 4 4
682 613			NSL=27 28	G=1 6 4 4
613 614			NSL=25 26	G=1 1 1 1
601 611	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
602 612			NSL=37 38	G=4 1 1 1
641 601	M=1	LP=3 0	NSL=31 32	G=1 6 6 6
642 602			NSL=33 34	G=4 1 1 1
611 651			NSL=39 40	G=1 6 6 6
612 652			NSL=41 42	G=1 4 4 4
613 653			NSL=43 44	G=1 2 2 2
614 654			NSL=33 34	

ANTAI 6B

621 691	M=2	LP=-2 0	NSL=27 28	G=1 6 4 4
691 622			NSL=27 28	G=1 6 4 4
622 692			NSL=27 28	G=1 6 4 4
692 623			NSL=27 28	G=1 6 4 4
623 624			NSL=25 26	G=1 1 1 1
631 632			NSL=29 30	G=1 5 5 5
632 633			NSL=25 26	G=3 1 1 1
621 631	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
622 632			NSL=37 38	G=4 1 1 1
661 621	M=1	LP=3 0	NSL=39 40	G=1 6 6 6
662 622			NSL=41 42	G=1 4 4 4
663 623			NSL=43 44	G=1 2 2 2
664 624			NSL=33 34	
631 671			NSL=31 32	G=1 1 1 1
633 673			NSL=33 34	G=2 1 1 1
636 676			NSL=31 32	G=1 1 1 1

ANTAI 7A

701 702	M=2	LP=-2 0	NSL=25 26	G=5 1 1 1
711 781			NSL=27 28	G=1 6 4 4
781 712			NSL=27 28	G=1 6 4 4
712 782			NSL=27 28	G=1 6 4 4
782 713			NSL=27 28	G=1 6 4 4
713 714			NSL=25 26	G=1 1 1 1
701 711	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
702 712			NSL=37 38	G=4 1 1 1
741 701	M=1	LP=3 0	NSL=31 32	G=1 6 6 6

42 702			NSL=33 34	G=4 1 1 1
11 751			NSL=39 40	G=1 6 6 6
12 752			NSL=41 42	G=1 4 4 4
13 753			NSL=43 44	G=1 2 2 2
14 754			NSL=33 34	

ANTAI 7B

21 791	M=2	LP=-2 0	NSL=27 28	G=1 6 4 4
91 722			NSL=27 28	G=1 6 4 4
22 792			NSL=27 28	G=1 6 4 4
92 723			NSL=27 28	G=1 6 4 4
23 724			NSL=25 26	G=1 1 1 1
31 732			NSL=29 30	G=1 5 5 5
32 733			NSL=25 26	G=3 1 1 1
21 731	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
22 732			NSL=37 38	G=4 1 1 1
61 721	M=1	LP=3 0	NSL=39 40	G=1 6 6 6
62 722			NSL=41 42	G=1 4 4 4
63 723			NSL=43 44	G=1 2 2 2
64 724			NSL=33 34	
71 771			NSL=31 32	G=1 1 1 1
73 773			NSL=33 34	G=2 1 1 1
76 776			NSL=31 32	G=1 1 1 1

ANTAI 8A

01 802	M=2	LP=-2 0	NSL=25 26	G=5 1 1 1
11 881			NSL=27 28	G=1 6 4 4
31 812			NSL=27 28	G=1 6 4 4
12 882			NSL=27 28	G=1 6 4 4
82 813			NSL=27 28	G=1 6 4 4
13 814			NSL=25 26	G=1 1 1 1
01 811	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
02 812			NSL=37 38	G=4 1 1 1
41 801	M=1	LP=3 0	NSL=31 32	G=1 6 6 6
42 802			NSL=33 34	G=4 1 1 1
11 851			NSL=39 40	G=1 6 6 6
12 852			NSL=41 42	G=1 4 4 4
13 853			NSL=43 44	G=1 2 2 2
14 854			NSL=33 34	

ANTAI 8B

21 891	M=2	LP=-2 0	NSL=27 28	G=1 6 4 4
91 822			NSL=27 28	G=1 6 4 4
22 892			NSL=27 28	G=1 6 4 4
92 823			NSL=27 28	G=1 6 4 4
23 824			NSL=25 26	G=1 1 1 1
31 832			NSL=29 30	G=1 5 5 5
32 833			NSL=25 26	G=3 1 1 1
21 831	M=1	LP=3 0	NSL=35 36	G=1 6 6 6
22 832			NSL=37 38	G=4 1 1 1
61 821	M=1	LP=3 0	NSL=39 40	G=1 6 6 6
62 822			NSL=41 42	G=1 4 4 4
63 823			NSL=43 44	G=1 2 2 2
64 824			NSL=33 34	
31 871			NSL=31 32	G=1 1 1 1
33 873			NSL=33 34	G=2 1 1 1
36 876			NSL=31 32	G=1 1 1 1

NTAI 9					
01	902	M=2	LP=-2 0	NSL=45 46	G=5 1 1 1
11	912			NSL=45 46	G=5 1 1 1
21	922			NSL=45 46	G=5 1 1 1
31	932			NSL=47 48	G=1 5 5 5
32	933			NSL=45 46	G=3 1 1 1
01	911	M=1	LP=3 0	NSL=53 54	G=1 6 6 6
02	912			NSL=55 56	G=4 1 1 1
11	921			NSL=53 54	G=1 6 6 6
12	922			NSL=55 56	G=4 1 1 1
21	931			NSL=53 54	G=1 6 6 6
22	932			NSL=55 56	G=4 1 1 1
41	901	M=1	LP=3 0	NSL=49 50	G=1 6 6 6
42	902			NSL=51 52	G=4 1 1 1
31	971			NSL=49 50	G=1 1 1 1
33	973			NSL=51 52	G=2 1 1 1
36	976			NSL=49 50	G=1 1 1 1

NTAI 10					
1001	1002	M=2	LP=-2 0	NSL=57 58	G=5 1 1 1
1011	1012			NSL=57 58	G=5 1 1 1
1021	1022			NSL=57 58	G=5 1 1 1
1031	1032			NSL=59 60	G=1 5 5 5
1032	1033			NSL=57 58	G=3 1 1 1
1001	1011	M=1	LP=3 0	NSL=65 66	G=1 6 6 6
1002	1012			NSL=67 68	G=4 1 1 1
1011	1021			NSL=65 66	G=1 6 6 6
1012	1022			NSL=67 68	G=4 1 1 1
1021	1031			NSL=65 66	G=1 6 6 6
1022	1032			NSL=67 68	G=4 1 1 1
1041	1001	M=1	LP=3 0	NSL=61 62	G=1 6 6 6
1042	1002			NSL=63 64	G=4 1 1 1
1031	1071			NSL=61 62	G=1 1 1 1
1033	1073			NSL=63 64	G=2 1 1 1
1036	1076			NSL=61 62	G=1 1 1 1

=====

STRUKTUR KOLOM

=====

KOLOM LANTAI DASAR-1					
1	101	M=3	LP=3 0	MS=0,2100	G=6 1 1 1
11	111				G=6 1 1 1
21	121				G=6 1 1 1
31	131				G=6 1 1 1

KOLOM LANTAI 1-2					
101	201	M=3	LP=3 0	MS=2100,2200	G=6 1 1 1
111	211				G=6 1 1 1
121	221			MS=2100,2300	G=6 1 1 1
131	231				G=6 1 1 1

KOLOM LANTAI 2-3							
1 201 301	M=3	LP=3 0	MS=2200,2400	G=6	1	1	1
1 211 311				G=6	1	1	1
1 221 321			MS=2300,2500	G=6	1	1	1
1 231 331				G=6	1	1	1

KOLOM LANTAI 3-4							
1 301 401	M=3	LP=3 0	MS=2400,2600	G=6	1	1	1
1 311 411				G=6	1	1	1
1 321 421			MS=2500,2700	G=6	1	1	1
1 331 431				G=6	1	1	1

KOLOM LANTAI 4-5							
1 401 501	M=3	LP=3 0	MS=2600,2800	G=6	1	1	1
1 411 511				G=6	1	1	1
1 421 521			MS=2700,2900	G=6	1	1	1
1 431 531				G=6	1	1	1

KOLOM LANTAI 5-6							
1 501 601	M=3	LP=3 0	MS=2800,3000	G=6	1	1	1
1 511 611				G=6	1	1	1
1 521 621			MS=2900,3100	G=6	1	1	1
1 531 631				G=6	1	1	1

KOLOM LANTAI 6-7							
1 601 701	M=3	LP=3 0	MS=3000,3200	G=6	1	1	1
1 611 711				G=6	1	1	1
1 621 721			MS=3100,3300	G=6	1	1	1
1 631 731				G=6	1	1	1

KOLOM LANTAI 7-8							
1 701 801	M=3	LP=3 0	MS=3200,3400	G=6	1	1	1
1 711 811				G=6	1	1	1
1 721 821			MS=3300,3500	G=6	1	1	1
1 731 831				G=6	1	1	1

KOLOM LANTAI 8-9							
1 801 901	M=3	LP=3 0	MS=3400,3600	G=6	1	1	1
1 811 911				G=6	1	1	1
1 821 921			MS=3500,3600	G=6	1	1	1
1 831 931				G=6	1	1	1

KOLOM LANTAI 9-10							
1 901 1001	M=3	LP=3 0	MS=3600,3700	G=6	1	1	1
1 911 1011				G=6	1	1	1
1 921 1021				G=6	1	1	1
1 931 1031				G=6	1	1	1

=====

BALOK MIRING

=====

281	291	M=2	LP=3	0	NSL=41	42	G=1	3	5	5	:	2A-2B
212	222				NSL=41	42	G=1	1	4	4		
222	312				NSL=41	42	G=1	3	4	4	:	2B-3A
292	382				NSL=41	42	G=1	1	3	3		
381	391				NSL=41	42	G=1	3	5	5	:	3A-3B
312	322				NSL=41	42	G=1	1	4	4		
322	412				NSL=41	42	G=1	3	4	4	:	3B-4A
392	482				NSL=41	42	G=1	1	3	3		
481	491				NSL=41	42	G=1	3	5	5	:	4A-4B
412	422				NSL=41	42	G=1	1	4	4		
422	512				NSL=41	42	G=1	3	4	4	:	4B-5A
492	582				NSL=41	42	G=1	1	3	3		
581	591				NSL=41	42	G=1	3	5	5	:	5A-5B
512	522				NSL=41	42	G=1	1	4	4		
522	612				NSL=41	42	G=1	3	4	4	:	5B-6A
592	682				NSL=41	42	G=1	1	3	3		
681	691				NSL=41	42	G=1	3	5	5	:	6A-6B
612	622				NSL=41	42	G=1	1	4	4		
622	712				NSL=41	42	G=1	3	4	4	:	6B-7A
692	782				NSL=41	42	G=1	1	3	3		
781	791				NSL=41	42	G=1	3	5	5	:	7A-7B
712	722				NSL=41	42	G=1	1	4	4		
722	812				NSL=41	42	G=1	3	4	4	:	7B-8A
792	882				NSL=41	42	G=1	1	3	3		
881	891				NSL=41	42	G=1	3	5	5	:	8A-8B
812	822				NSL=41	42	G=1	1	4	4		

S

ANTAI 1

147	6	L=1	F=0	0	-46.46	:	P3	DL
147	6	L=2	F=0	0	-39.21	:	P3	LL
146	1	L=1	F=0	0	-92.92	:	P5	DL
146	1	L=2	F=0	0	-78.42	:	P5	LL
177	6	L=1	F=0	0	-24.89	:	P1	DL
177	6	L=2	F=0	0	-24.03	:	P1	LL
176	4	L=1	F=0	0	-46.46	:	P3	DL
176	4	L=2	F=0	0	-39.21	:	P3	LL
175	1	L=1	F=0	0	-92.92	:	P5	DL
175	1	L=2	F=0	0	-78.42	:	P5	LL

ANTAI 2B

267	6	L=1	F=0	0	-7.73	:	P3	DL
267	6	L=2	F=0	0	-2.21	:	P3	LL
265	2	L=1	F=0	0	-40.76	:	P6	DL
265	2	L=2	F=0	0	-21.81	:	P6	LL
264	0	L=1	F=0	0	-66.06	:	P4	DL
264	0	L=2	F=0	0	-66.06	:	P4	LL
277	6	L=1	F=0	0	-24.89	:	P1B	DL

77 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1B LL
76 4	L=1	F=0 0 -45.91	: P1C DL
76 4	L=2	F=0 0 -33.03	: P1C LL
67 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
67 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
75 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
75 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
92 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
92 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
96 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
96 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 3A

47 6	L=1	F=0 0 -33.03	: P1A DL
47 6	L=2	F=0 0 -19.60	: P1A LL
46 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
46 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
57 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
57 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
55 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
55 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
54 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
54 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
82 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
82 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
86 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
86 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 3B

67 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
67 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
65 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
65 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
64 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
64 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
77 6	L=1	F=0 0 -24.89	: P1B DL
77 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1B LL
76 4	L=1	F=0 0 -45.91	: P1C DL
76 4	L=2	F=0 0 -33.03	: P1C LL
67 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
67 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
75 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
75 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
92 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
92 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
96 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
96 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 4A

47 6	L=1	F=0 0 -33.03	: P1A DL
47 6	L=2	F=0 0 -19.60	: P1A LL
46 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
46 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
57 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL

457 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
455 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
455 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
454 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
454 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
482 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
482 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
486 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
486 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 4B

467 6	L=1	F=0 0 -7.738	: P3 DL
467 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
465 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
465 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
464 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
464 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
477 6	L=1	F=0 0 -24.89	: P1B DL
477 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1B LL
476 4	L=1	F=0 0 -45.91	: P1C DL
476 4	L=2	F=0 0 -33.03	: P1C LL
467 6	L=1	F=0 0 -7.738	: P3 DL
467 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
475 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
475 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
492 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
492 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
496 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
496 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 5A

547 6	L=1	F=0 0 -33.03	: P1A DL
547 6	L=2	F=0 0 -19.60	: P1A LL
546 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
546 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
557 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
557 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
555 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
555 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
554 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
554 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
582 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
582 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
586 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
586 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 5B

567 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
567 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
565 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
565 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
564 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
564 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL

577 6	L=1	F=0 0 -24.89	: P1B DL
577 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1B LL
576 4	L=1	F=0 0 -45.91	: P1C DL
576 4	L=2	F=0 0 -33.03	: P1C LL
567 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
567 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
575 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
575 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
592 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
592 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
596 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
596 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 6A

647 6	L=1	F=0 0 -33.03	: P1A DL
647 6	L=2	F=0 0 -19.60	: P1A LL
646 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
646 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
657 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
657 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
655 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
655 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
654 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
654 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
682 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
682 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
686 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
686 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 6B

667 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
667 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
665 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
665 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
664 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
664 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
677 6	L=1	F=0 0 -24.89	: P1B DL
677 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1B LL
676 4	L=1	F=0 0 -45.91	: P1C DL
676 4	L=2	F=0 0 -33.03	: P1C LL
667 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
667 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
675 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
675 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
692 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
692 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
696 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
696 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 7A

747 6	L=1	F=0 0 -33.03	: P1A DL
747 6	L=2	F=0 0 -19.60	: P1A LL
746 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
746 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
757 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
757 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL

755 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
755 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
754 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
754 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
782 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
782 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
786 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
786 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 7B

767 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
767 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
765 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
765 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
764 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
764 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
777 6	L=1	F=0 0 -24.89	: P1B DL
777 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1B LL
776 4	L=1	F=0 0 -45.91	: P1C DL
776 4	L=2	F=0 0 -33.03	: P1C LL
767 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
767 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
775 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
775 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
792 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
792 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
796 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
796 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 8A

847 6	L=1	F=0 0 -33.03	: P1A DL
847 6	L=2	F=0 0 -19.60	: P1A LL
846 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
846 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
857 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
857 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
855 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
855 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
854 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
854 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
882 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
882 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
886 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
886 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 8B

867 6	L=1	F=0 0 -7.73	: P3 DL
867 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
865 2	L=1	F=0 0 -40.76	: P6 DL
865 2	L=2	F=0 0 -21.81	: P6 LL
864 0	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
864 0	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
877 6	L=1	F=0 0 -24.89	: P1B DL
877 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1B LL
876 4	L=1	F=0 0 -45.91	: P1C DL

876 4	L=2	F=0 0 -33.03	: P1C LL
867 6	L=1	F=0 0 -7.738	: P3 DL
867 6	L=2	F=0 0 -2.21	: P3 LL
875 1	L=1	F=0 0 -66.06	: P4 DL
875 1	L=2	F=0 0 -66.06	: P4 LL
892 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
892 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL
896 1	L=1	F=0 0 -47.32	: P8 DL
896 1	L=2	F=0 0 -33.89	: P8 LL

ANTAI 9

947 6	L=1	F=0 0 -51.11	: P3 DL
947 6	L=2	F=0 0 -24.51	: P3 LL
946 1	L=1	F=0 0 -102.23	: P5 DL
946 1	L=2	F=0 0 -49.01	: P5 LL
977 6	L=1	F=0 0 -27.75	: P1 DL
977 6	L=2	F=0 0 -15.02	: P1 LL
976 4	L=1	F=0 0 -51.11	: P3 DL
976 4	L=2	F=0 0 -24.51	: P3 LL
975 1	L=1	F=0 0 -102.23	: P5 DL
975 1	L=2	F=0 0 -49.01	: P5 LL

ANTAI 10

1047 6	L=1	F=0 0 -38.10	: P3 DL
1047 6	L=2	F=0 0 -19.60	: P3 LL
1046 1	L=1	F=0 0 -76.20	: P5 DL
1046 1	L=2	F=0 0 -39.21	: P5 LL
1077 6	L=1	F=0 0 -28.14	: P1 DL
1077 6	L=2	F=0 0 -12.02	: P1 LL
1076 4	L=1	F=0 0 -38.10	: P3 DL
1076 4	L=2	F=0 0 -19.60	: P3 LL
1075 1	L=1	F=0 0 -76.20	: P5 DL
1075 1	L=2	F=0 0 -39.21	: P5 LL


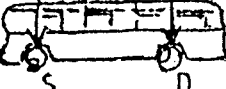
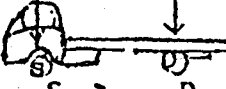
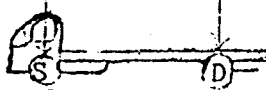
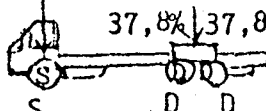
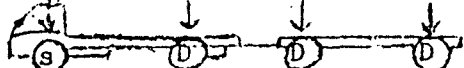
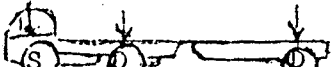
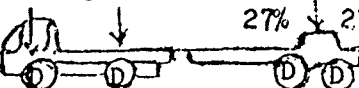
S=9.81 D=0.05 : ZONE GEMPA 4, TANAH LUNAK

0.3*0.050	0.050	: 100% GEMPA ARAH Y, 30% GEMPA ARAH X
0.3*0.050	0.050	: 100% GEMPA ARAH Y, 30% GEMPA ARAH X
0.3*0.050	0.050	: 100% GEMPA ARAH Y, 30% GEMPA ARAH X
0.3*0.0375	0.0375	: 100% GEMPA ARAH Y, 30% GEMPA ARAH X
0.3*0.025	0.025	: 100% GEMPA ARAH Y, 30% GEMPA ARAH X
0.3*0.025	0.025	: 100% GEMPA ARAH Y, 30% GEMPA ARAH X
0.3*0.025	0.025	: 100% GEMPA ARAH Y, 30% GEMPA ARAH X

]

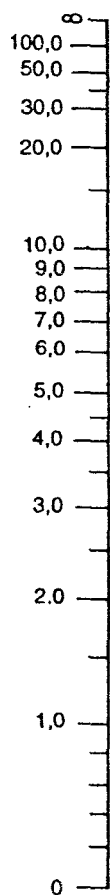
C=1.2 1.6	D=0	: 1,2D + 1,6L
C=1.05 1.05*0.5	D=1.05*2.484	: 1,05(D + Lr + 2E)
C=1.05 1.05*0.5	D=-1.05*2.484	: 1,05(D + Lr - 2E)
C=0 0	D=1.05*2.484	: 1,05(2E)
C=1 0.5	D=0	: D + Lr
C=1 1	D=1	: D + L + E

Angka Ekuivalen 8,16 ton Bebas AS tunggal (= EAL) $\rightarrow 8,16 \text{ ton} = 18 \text{ KIP}$
 (sumber : Bina Marga , 1979) $\leq 18000 \text{ L}$

Berat Kosong (ton)	Beban muatan Maksimum (ton)	Berat Total Maksimum (ton)	AE 8,16 ton (= E) Muatan kosong	AE 8,16 ton (= E) Muatan maksimum	Keterangan :
1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0004	<div> <div></div> <div>Roda tunggal pada ujung sumbu</div> </div>
3	6	9	0,0037	0,3006	<div> <div></div> <div>S D</div> </div>
2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	<div> <div></div> <div>S D</div> </div>
4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	<div> <div></div> <div>S D</div> </div>
5	20	25	0,0044	2,7416	<div> <div></div> <div>S D D</div> </div>
6,4	25	31,4	0,0085	4,9283	<div> <div></div> <div>S D D D</div> </div>
6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	<div> <div></div> <div>S D D</div> </div>
10	32	42	0,0327	10,183	<div> <div></div> <div>S D D</div> </div>

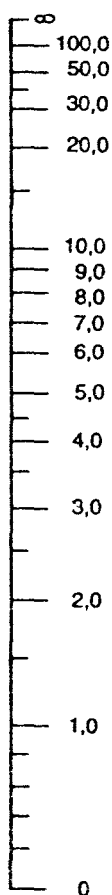
Pada ujung bawah
kolom

ψ



Pada ujung atas
kolom

ψ



k

∞

20,0

10,0

5,0

4,0

3,0

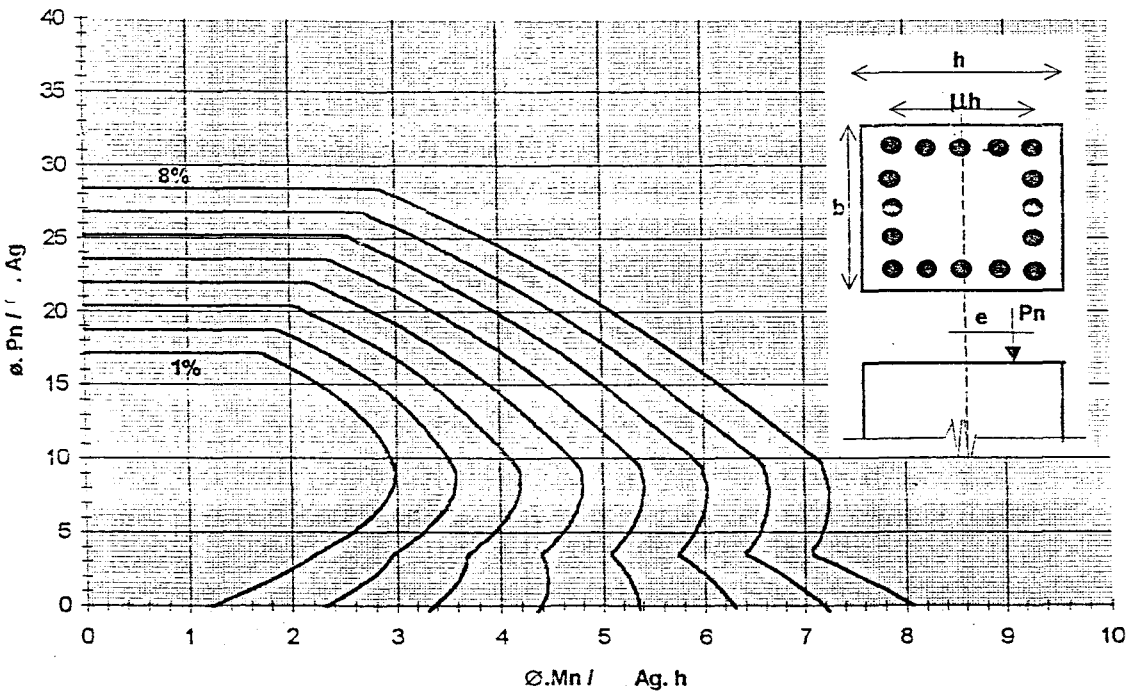
2,0

1,5

0

Gambar Diagram nomogram untuk menentukan panjang tekuk suatu kolom pada portal tanpa pengaku

DIAGRAM INTERAKSI F320-25-0,8-4



48 12 15 20 24

DIAGRAM INTERAKSI
F400-35-0,8-4

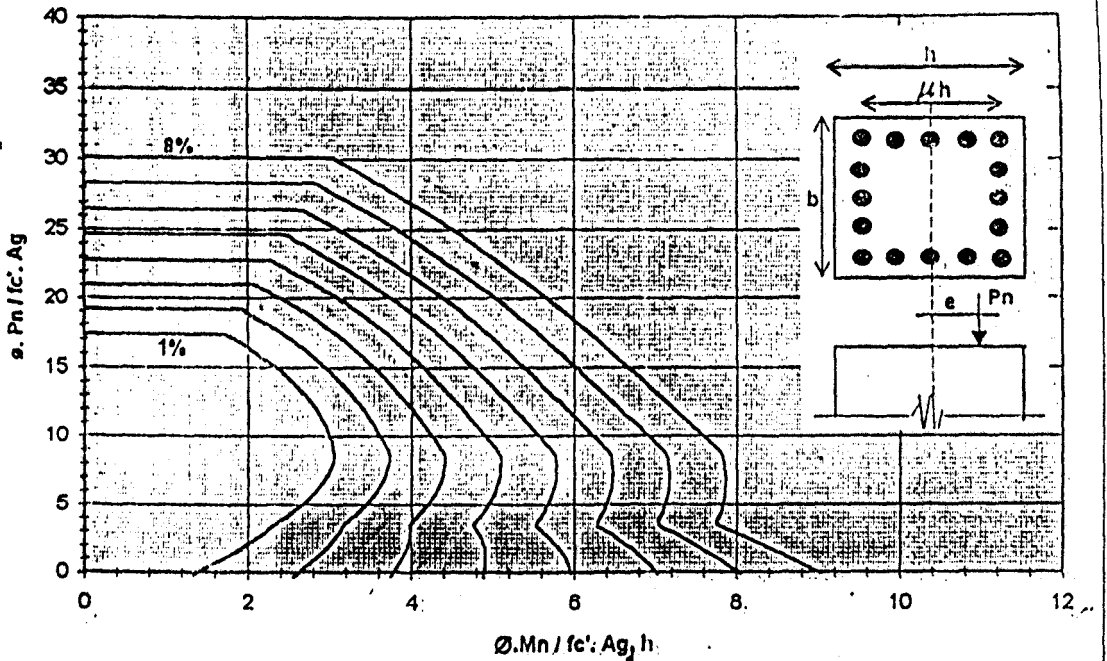
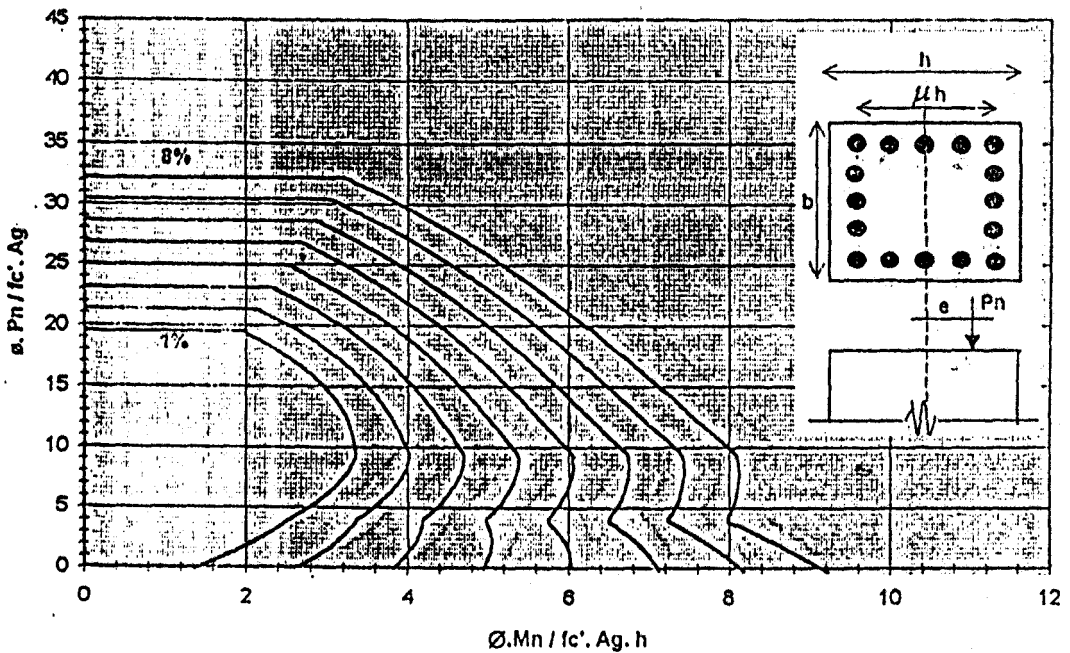


DIAGRAM INTERAKSI
F400-40-0,8-4





Testana Engineering, Inc.

Soil Testings & Research Administration.

SR.GM-01/TE/VII/1994.

LAPORAN PENYELIDIKAN TANAH.

Proyek : Rumah sakit berlantai banyak.
Lokasi : Jl. Dharmahusada 31-35, Surabaya.
Relasi : P.T. GARIS MATAHARI & ASSOCIATES.

Surabaya, 07 Juli 1994.

Testana Engineering, Inc.

Ir. Sugeng Setyawan, M.Sc.

Pimpinan.



PRAKATA.

Mengawali perencanaan pondasi *gedung rumah sakit, berlantai banyak*, yang berlokasi di *Jl. Dharmahusada 31-35, Surabaya*, maka berdasarkan perintah kerja *P.T. GARIS MATAHARI & ASSOCIATES, Surabaya*, telah kami lakukan penyelidikan tanah di lapangan untuk mengetahui jenis, kondisi dan kekuatan lapisan-lapisan tanah bawah.

Pada laporan ini disajikan hasil-hasil uji sondir dan SPT serta perkiraan kapasitas dukung ijin pondasi usulan, untuk memberikan pilihan bagi kemungkinan pelaksanaannya.

Atas kesempatan, kerjasama dan kepercayaan yang telah diberikan kepada kami untuk menangani pekerjaan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya.

Testana Engineering, Inc.

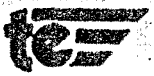


DAFTAR ISI

PRAKATA.	i
DAFTAR ISI.	ii
I. PENDAHULUAN.	
I.1. Tinjauan Umum.	1
I.2. Tujuan Penyelidikan.	1
II. PENDEKATAN TEKNIS.	
II.1. Penyelidikan di lapangan.	2
III. KOMPILASI DATA DAN ANALISA.	
III.1. Pondasi Dangkal.	3
III.2. Pondasi Tiang.	3
IV. KESIMPULAN.	4

LAMPIRAN :

- L.1. Letak Titik-Titik Penyelidikan Tanah.
- L.2.1 dan L.2.2. Bor-log.
- L.3.1 s/d L.3.4. Cone Penetrometer Test.
- L.4.1 s/d L.4.6. Perhitungan Kapasitas Dukung Ijin Pondasi Tiang.



I. PENDAHULUAN.

I.1. Tinjauan Umum.

Memenuhi perintah kerja bapak Ir. Sundoro Darmoyuwono, pimpinan P.T. GARIS MATAHARI & ASSOCIATES, Surabaya, maka pada tanggal 20, 21, 27 Juni s/d 1 Juli 1994 telah kami lakukan penyelidikan tanah untuk proyek rumah sakit berlantai banyak yang berlokasi di Jl. Dharmahusada 31-35, Surabaya.

Penyelidikan tanah di lapangan meliputi 2 bor dalam dan 4 titik sondir ringan. Skema lokasi titik-titik penyelidikan diperlihatkan dalam lampiran L.1.

I.2. Tujuan Penyelidikan.

Maksud penyelidikan tanah ini adalah untuk mengevaluasi kekuatan dan kondisi tanah dasar yang berguna menunjang perencanaan awal pada pondasi bangunan yang direncanakan sebagai bangunan rumah sakit berlantai banyak serta fasilitasnya agar didapat design yang tidak saja aman namun juga efisien serta ekonomis dalam pelaksanaannya.

II. PENDEKATAN TEKNIS.

Dalam upaya mencapai tujuan penyelidikan tanah, serta dengan memperhatikan kemungkinan intensitas pembebanan dan informasi teknis terkumpul tentang kondisi geologis tanah dasar setempat, maka disusunlah program penyelidikan tanah di lapangan yang merupakan langkah-langkah pendekatan teknis terhadap penyelesaian masalah, meliputi hal-hal sbb.:

II.1. Penyelidikan di lapangan.

- Bor dalam.

Boring dalam, pelaksanaannya sesuai *ASTM D-1452*, untuk mengetahui jenis dan kondisi strata tanah secara visual. Dalam pemboran tersebut disertai dengan uji SPT (Standard Penetration Test), dilaksanakan dengan automatic trip hammer, untuk mengetahui kekuatan tanah dengan menghitung jumlah tumbukan dari hammer standard (*ASTM D-1586*). Data hasil pemboran dan SPT diperlihatkan dalam boring log lampiran L.2.1 dan L.2.2.

- CPT, Cone Penetrometer Test.

Penyelidikan ini dilakukan sesuai *ASTM D-3441*. Uji ini memberikan perlawanan ujung, q_c dan gesekan selimut f_s . Nilai perlawanan ujung dengan gesekan selimut itu dapat memberikan indikasi jenis tanah dan beberapa parameter tanah. Hasil uji sondir diperlihatkan dalam bentuk grafik pada lampiran L.3.1 s/d L.3.4.

III. KOMPILASI DATA DAN ANALISA.

Setelah mempelajari data dan kondisi tanah yang terkompilasi dalam grafik-grafik, dapat diinformasikan bahwa lapisan tanah didominasi oleh lempung atau lempung kepasiran yang cukup lunak dan sangat tebal yang akan terjadi penurunan konsolidasi yang berlebihan pada bangunan berat, dan disamping itu kondisi tanah keras jauh didalam, maka analisa pondasi untuk rencana bangunan berlantai banyak dapat digunakan pondasi dalam seperti tiang pancang maupun tiang bor. Sedang untuk bangunan ringan dan

tak penting, seperti dinding pagar, di tampilkan pondasi dangkal.

III.1. Pondasi Dangkal.

Pondasi dangkal ditampilkan hanya sebagai pertimbangan pada konstruksi-konstruksi ringan seperti dinding pagar, pos-pos jaga, dll. Perhitungan daya dukung tanah dasar pada pondasi dangkal tipe lajur dengan lebar 1 m dan pada kedalaman -1 m diperlihatkan sbb.:

Data tanah di ambil dari grafik sondir S-4 :

$$q_c = 5 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 5 / 20 = 0.25 \text{ kg/cm}^2$$

estimasi kondisi tanah jenuh,

$$\phi = 0^\circ \longrightarrow Nc' = 5.7, Nq' = 1 \text{ dan } N\tau' = 0$$

$$\begin{aligned} q_u &= c' Nc' + p_0 (Nq' - 1) + 0.5 B \tau' N\tau' \\ &= 2/3 \times 0.25 \times 5.7 \\ &= 0.95 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$q_{all} = 0.95 : 3 = 0.32 \text{ kg/cm}^2$$

III.2. Pondasi Tiang.

Melihat hasil-hasil penyelidikan dengan uji sondir maupun SPT, yang mana kondisi tanah keras cukup dalam dan perkiraan beban bangunan yang akan diteruskan ke struktur bawah (pondasi), maka pemakaian pondasi tiang diharapkan dapat memikul beban-beban berat dari kolom bangunan. Sebagai alternatif, dipakai pondasi tiang pancang apabila kondisi lingkungan memungkinkan untuk dilaksanakan, seperti tidak terganggunya lingkungan sekitarnya oleh getaran maupun suara yang ditimbulkan oleh alat pancang. Untuk alternatif

lain, maka pondasi tiang bor dapat digunakan, dimana getaran yang ditimbulkan relatif kecil. Analisa dari kedua tipe pondasi tersebut dipakai metode Coyle, outputnya dapat dilihat pada lampiran L.4.1 s/d L.4.6.

IV. KESIMPULAN.

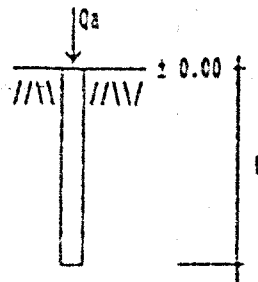
Berdasarkan penyelidikan tanah yang telah dilakukan, dikemukakan beberapa informasi awal sebelum melakukan pekerjaan konstruksi, supaya dapat dilaksanakan seekonomis mungkin dan didapatkan cara praktis dalam pelaksanaannya. Dari penyelidikan dan pengujian tersebut, maka kami menyimpulkan beberapa hal sbb. :

- Visualisasi lapisan-lapisan tanah memperlihatkan keadaan yang cukup bervariasi, dan umumnya didominasi oleh lapisan tanah lempung baik lempung kepasiran maupun lempung kelanauan, yang dijumpai dari permukaan tanah sampai kedalaman -24 m. Dibawah lapisan ini, sampai akhir pemboran (-30 m) dijumpai lapisan berpasir padat. Untuk kondisi lapisan lempung amat lunak dapat dijumpai sampai kedalaman -15 m dari permukaan tanah dan selanjutnya meningkat kepadatannya, sampai kedalaman -24 dengan kondisi sangat kaku.
- Analisa kapasitas dukung pondasi dangkal lebar 1 m dan ditempatkan pada kedalaman -1 m dihasilkan daya dukung ijin sebesar $q_a = 0.3 \text{ kg/cm}^2$. Pondasi ini hanya disarankan untuk konstruksi ringan seperti pagar, pos jaga dll. Sedang untuk konstruksi berat berlantai banyak dipakai pondasi tiang. Alternatif pondasi tiang dapat dipakai pondasi tiang pancang atau pondasi tiang bor. Dan untuk perhitungan masing-masing pondasi tiang dengan

variasi ukuran maupun kedalaman, dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas dukung ijin pondasi tiang, Q_a .

Tipe	Ukuran (cm)	Kedalaman, L (m)	Q_a (ton/tiang)
Tiang bor	ø 100	22	113
	ø 100	24	212
Tiang pancang	ø 50	22	49
	ø 50	24	78
	ø 45	22	37
	ø 45	24	55



Dan sebaiknya perlu ditinjau mengenai pemilihan diantara pondasi tiang tersebut, apabila daerah sekitar lokasi proyek adalah sensitive terhadap getaran, maka sebaiknya pemilihan pondasi tiang bor lebih dipertimbangkan dengan alasan tidak mengganggu keamanan bangunan sekelilingnya.

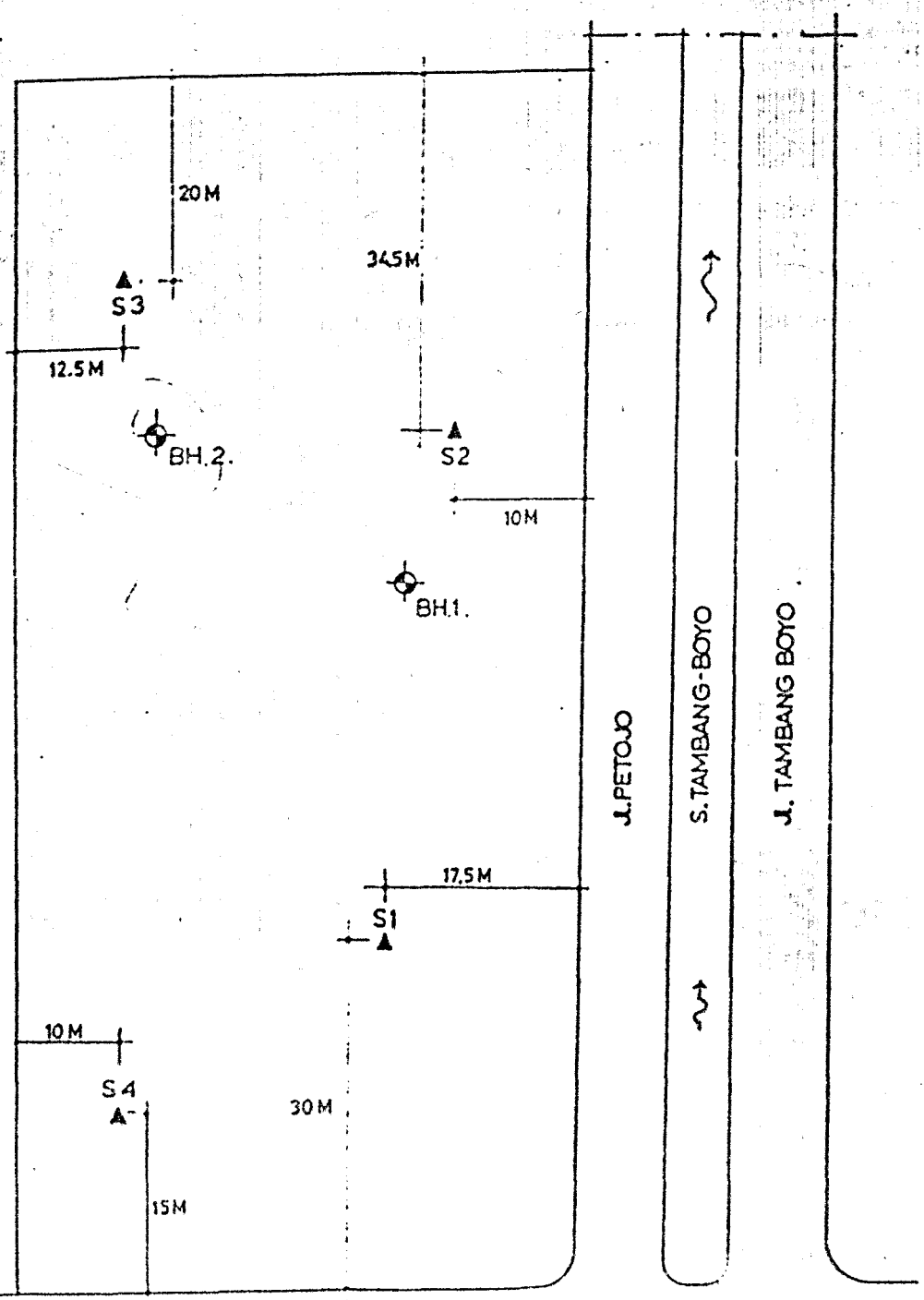
- Bila tiang-tiang tersebut direncanakan dalam sekelompok tiang dan jarak tiang terlalu rapat satu sama lainnya, maka akan terjadi "overlapping stress" yang mengakibatkan daya dukung tiang tunggal akan berkurang dan dimungkinkan dapat menimbulkan deformasi dari lapisan pendukung. Dengan jarak antara masing-masing tiang sebesar 3 s/d 3.5 kali diameter tiang, pengaruh "overlapping stress" ini dapat diminimkan. Makin banyak tiang yang berdekatan, maka makin besar pengaruh "overlapping stress".

akhir laporan



Testana Engineering, Inc.

Lampiran



JL. DHARMAHUSADA / PROF. DR. MUSTOPO

J. PETOJO

S. TAMBANG BOYO

J. TAMBANG BOYO

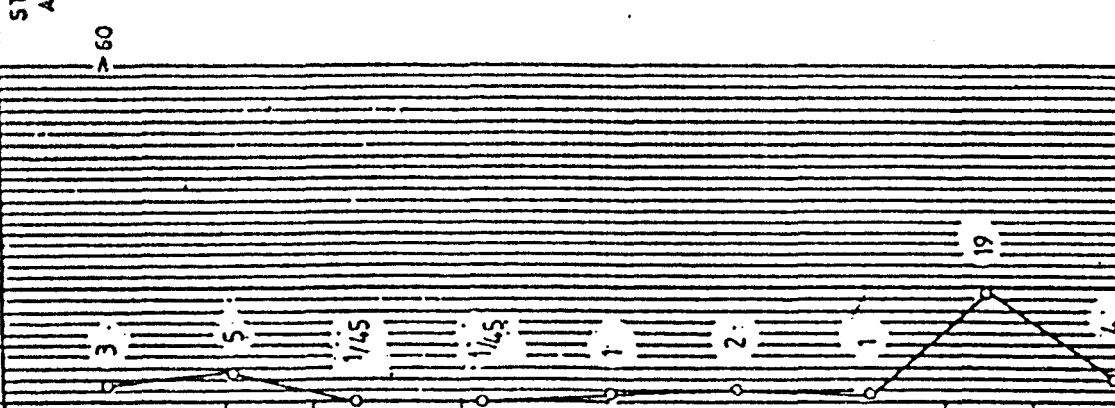
ETAK TITIK-TITIK PENYELIDIKAN TANAH.

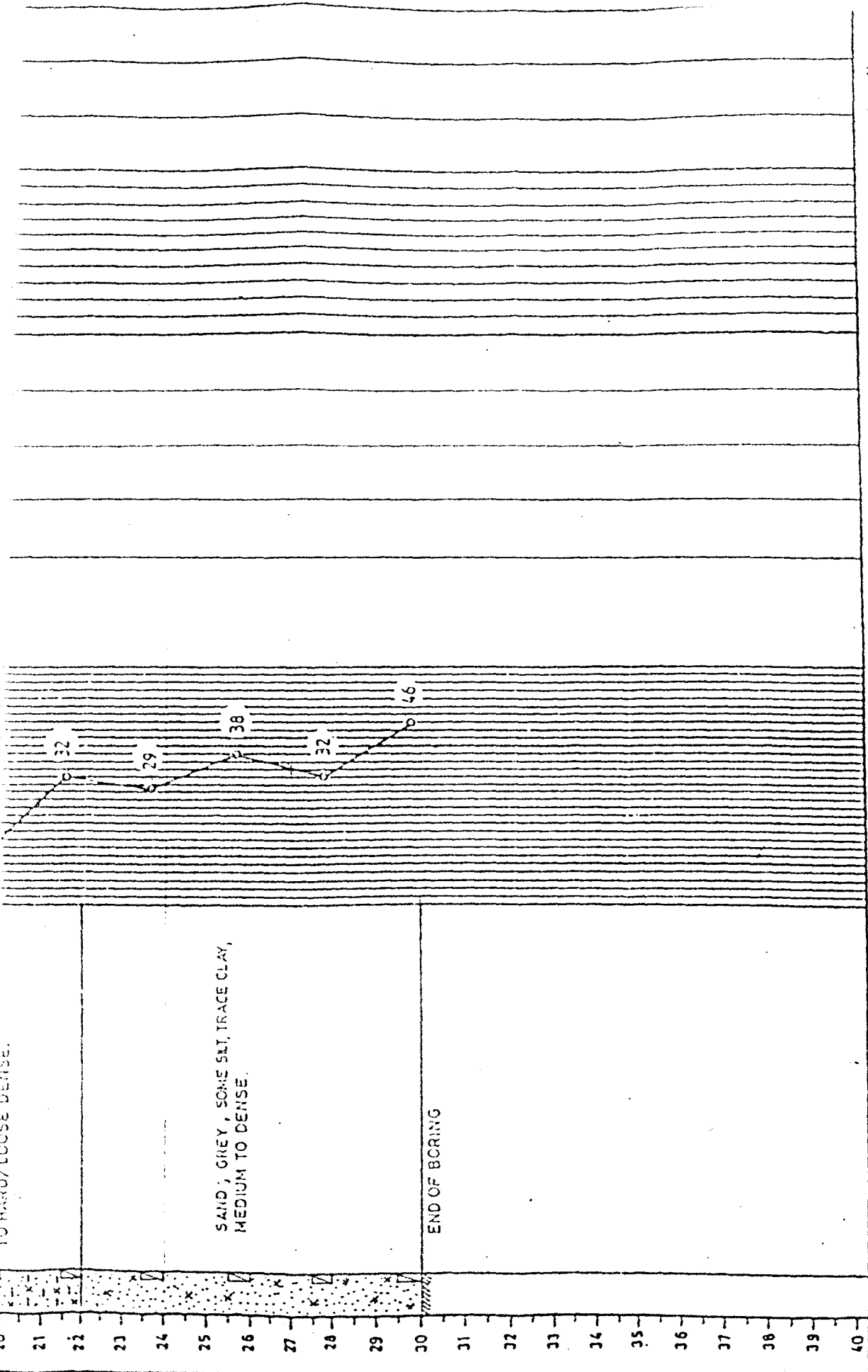
PROJECT : P.T. GARIS MATAHARI.
LOCATION : J Darmahusada 31-35, Sby.

COORDINATE :
BORING DEPTH : - 30 m

GROUND WATER LEVEL : - 1.10 m
GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m

DEPTH (M)	SOIL DESCRIPTION	STANDARD PENETRATION TEST						CORE BAREL TYPE	STRENGTH TEST				ATTERBERG LIMITS				r	Gs	e _o
		0	10	20	30	40	50	60	TYPE	C	q°	qu	0	20	40	60			
1	CLAY, BROWN, SOME SILT, TRACE SAND. SOFT.								STCB ALL										
2																			
3																			
4	CLAY AND SILT, GREY, LITTLE SAND, MEDIUM STIFF																		
5																			
6	CLAY AND SAND, GREY, SOME SILT, VERY SOFT / VERY LOOSE																		
7																			
8																			
9																			
10																			
11	CLAY, GREY, SOME SILT, VERY SOFT.																		
12																			
13																			
14																			
15																			
16	SAND AND CLAY, GREYISH BROWN, SOME SILT. MEDIUM / VERY STIFF																		
17	CLAY, LIGHT BROWN, SOME SILT, SOFT																		





NOTE :

0 TO 10 % = Trace

10 TO 20 % = Little

20 TO 30 % = Medium

30 TO 40 % = High

40 TO 50 % = Very High

50 TO 60 % = Extreme

60 TO 70 % = Superplastic

70 TO 80 % = Liquid

80 TO 90 % = Very Liquid

90 TO 100 % = Superliquid

UN = Unconsolidated undrained

CU = Consolidated undrained

CD = Consolidated drained

UW = Thin walled

W = Moisture content %

P = Plastic limit %

L = Liquid limit %

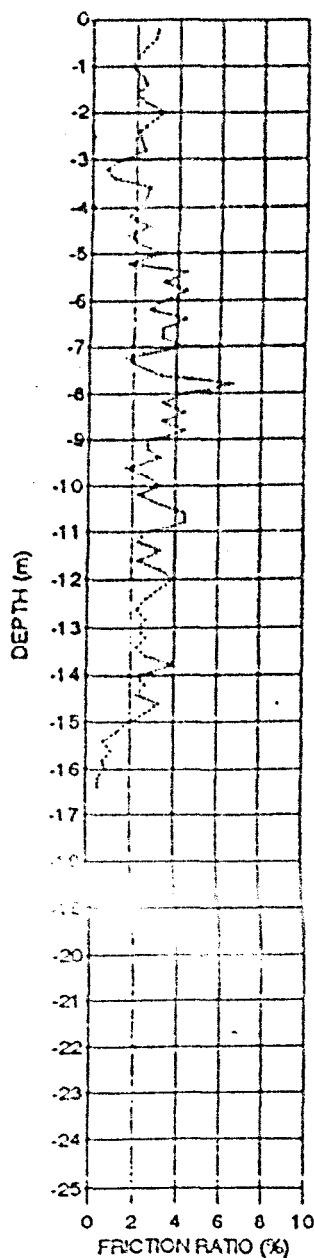
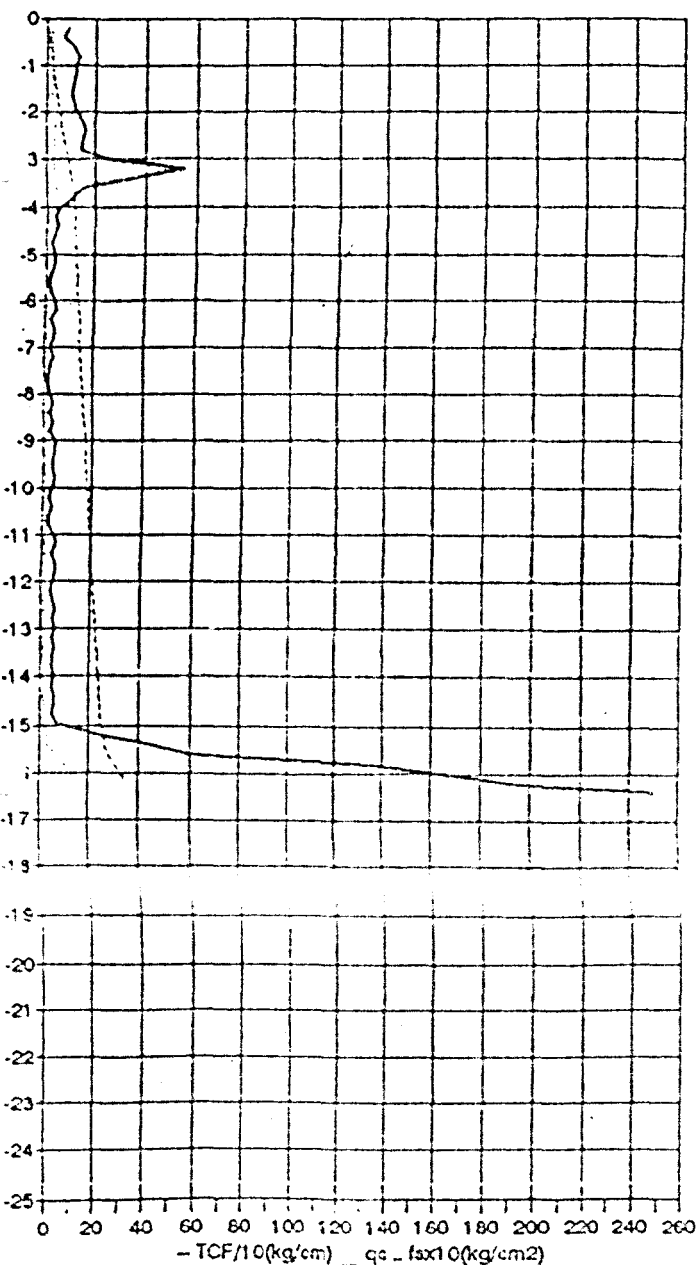
I = Bulk density g/cc



DUTCH CONE PENETROMETER TEST

CT : P.T. GARIS MATAHARI
ION : Jl. Dermahusada no. 31-35, Sura
ING NO. : S-2
OF TESTED : June 20, 1994.

DEPTH : -16.40 m
GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m
GROUND WATER LEVEL : -1.50 m
OPERATOR : SW.
CHECKED BY : AQ



PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL
PONDASI TIANG PANCANG PADA P.T.. GARIS MATAHARI

40 CM TIANG LINGKARAN

KEDALAMAN MUKA AIR TANAH = 1.1 M

UJI TEKAN

PANJANG PEMBENAMAN = 22 M

PANJANG TIANG = 22 M

MODULUS TIANG = 210000 KG/CM²

KEDALAMAN BAWAH DARI LAPISAN (M)	JENIS TANAH
2.50	LANAU
4.00	LEMPUNG
6.40	LEMPUNG
15.00	LEMPUNG
18.50	LEMPUNG
21.50	LEMPUNG
24.00	LEMPUNG
30.00	PASIR

KEDALAMAN (M)	SPT N (BLOWS/FT)	KUAT GESER (KG/CM ²)
1.75	2	
3.75		0.50
5.75		0.13
7.75		0.13
9.75		0.13
11.75		0.13
13.75		0.13
15.75		2.00
17.75		2.63
19.75		2.00
21.75		2.75
23.75		2.75
25.75	26	
27.75	30	
29.75	33	

$$Q_a = \frac{110.93}{3} = 36.98 \text{ ton}$$

PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL

BEBAN TOTAL (TON)	BEBAN UJUNG (TON)	GESEKAN (TON)	SETTLEMENT (CM)
3.45	0.44	3.01	0.02
17.20	2.18	15.03	0.09
33.26	4.35	28.91	0.18
46.55	6.53	40.01	0.26
72.95	13.06	59.89	0.48
95.39	21.77	73.62	0.69
110.93	31.10	79.83	0.95
110.93	31.10	79.83	1.45
110.93	31.10	79.83	1.96
110.93	31.10	79.83	2.60

PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL
PONDASI TIANG PANCANG PADA P.T. GARIS MATAHARI

10 CM TIANG LINGKARAN

KEDALAMAN MUKA AIR TANAH = 1.1 M

JI TEKAN

ANJANG PEMBEKAMAN = 24 M

PANJANG TIANG = 24 M

MODULUS TIANG = 210000 KG/CM²

KEDALAMAN BAWAH DARI LAPISAN (M)	JENIS TANAH
2.50	LANAU
4.00	LEMPUNG
6.40	LEMPUNG
15.00	LEMPUNG
18.50	LEMPUNG
21.50	LEMPUNG
24.00	LEMPUNG
30.00	PASIR

KEDALAMAN (M)	SPT N (BLOWS/FT)	KUAT GESER (KG/CM ²)
1.75	2	
3.75		0.50
5.75		0.13
7.75		0.13
9.75		0.13
11.75		0.13
13.75		0.13
15.75		2.00
17.75		2.63
19.75		2.00
21.75		2.75
23.75		2.75
25.75	26	
27.75	30	
29.75	33	

$$Q_a = \frac{159.42}{3} = 56.47 \text{ ton}$$

PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL

BEBAN TOTAL (TON)	BEBAN UJUNG (TON)	GESEKAN (TON)	SETTLEMENT (CM)
5.72	0.74	4.98	0.03
28.04	3.68	24.36	0.15
50.48	7.36	43.11	0.29
66.49	11.04	55.44	0.41
100.55	22.09	78.46	0.71
128.01	36.81	91.20	0.99
169.42	73.63	95.80	1.49
218.51	122.71	95.80	2.45
232.00	136.21	95.80	3.08
249.18	153.39	95.80	3.87

PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL
PONDASI TIANG PANCANG PADA P.T. GARIS MATAHARI

50 CM TIANG LINGKARAN

KEDALAMAN MUKA AIR TANAH = 1.1 M

UJI TEKAN

PANJANG PEMBENAMAN = 22 M PANJANG TIANG = 22 M

MODULUS TIANG = 210000 KG/CM²

KEDALAMAN BAWAH DARI LAPISAN (M)	JENIS TANAH
2.50	LANAU
4.00	LEMPUNG
6.40	LEMPUNG
15.00	LEMPUNG
18.50	LEMPUNG
21.50	LEMPUNG
24.00	LEMPUNG
30.00	PASIR

KEDALAMAN (M)	SPT N (BLOWS/FT)	KUAT GESER (KG/CM ²)
1.75	2	
3.75		0.50
5.75		0.13
7.75		0.13
9.75		0.13
11.75		0.13
13.75		0.13
15.75		2.00
17.75		2.63
19.75		2.00
21.75		2.75
23.75		2.75
25.75	26	
27.75	30	
29.75	33	

$$Q_a = \frac{147.86}{3} = 49.29 \text{ ton}$$

PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL

BEBAN TOTAL (TON)	BEBAN UJUNG (TON)	GESEKAN (TON)	SETTLEMENT (CM)
4.10	0.68	3.42	0.02
20.52	3.40	17.12	0.08
40.21	6.80	33.41	0.15
57.51	10.21	47.30	0.22
93.80	20.41	73.39	0.41
125.06	34.02	91.05	0.62
147.86	48.60	99.27	0.86
147.86	48.60	99.27	1.37
147.86	48.60	99.27	1.87
147.86	48.60	99.27	2.51

PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL
PONDASI TIANG PANCANG PADA P.T. GARIS MATAHARI

L.4.6

CH TIANG LINGKARAN
ALAMAN MUKA AIR TANAH = 1.1 M
TEKAN
JANG PENBENAMAN = 24 M PANJANG TIANG = 24 M
JLUS TIANG = 210000 KG/CM²

KEDALAMAN BAWAH DARI LAPISAN (M)	JENIS TANAH
2.50	LANAU
4.00	LEMPUNG
6.40	LEMPUNG
15.00	LEMPUNG
18.50	LEMPUNG
21.50	LEMPUNG
24.00	LEMPUNG
30.00	PASIR

KEDALAMAN (M)	SPT N (BLOWS/FT)	KUAT GESER (KG/CM ²)
1.75	2	
3.75		0.50
5.75		0.13
7.75		0.13
9.75		0.13
11.75		0.13
13.75		0.13
15.75		2.00
17.75		2.63
19.75		2.00
21.75		2.75
23.75		2.75
25.75	26	
27.75	30	
29.75	33	

$$Q_a = \frac{234.26}{3} = 78.09 \text{ ton}$$

PREDIKSI PERILAKU TIANG OLEH BEBAN VERTIKAL

BEBAN TOTAL (TON)	BEBAN UJUNG (TON)	GESEKAN (TON)	SETTLEMENT (CM)
6.72	1.16	5.57	0.02
33.22	5.75	27.46	0.12
62.34	11.50	50.83	0.24
84.08	17.26	66.83	0.35
130.96	34.51	96.45	0.62
170.88	57.52	113.36	0.89
234.26	115.04	119.22	1.38
310.96	191.73	119.22	2.33
332.05	212.82	119.22	2.97
358.89	239.67	119.22	3.76

WIKA PILE CLASSIFICATION

No	Pile Diameter (mm)	Pile Thick (mm)	Pile Class	PO WIRE		Area of steel (Cm ²)	Area of Concrete (Cm ²)	Section Modulus (Cm ³)	Effective Prestress (Kg/Cm ²)	Allowable Axial (T)	Bending Moment	
				D (mm)	Numb						Crack (U.m)	Dir (U.m)
1	350	70	A1	7	8	3.08	615.75	3711.17	46.74	92.15	3.50	5.25
			A3	7	12	4.62	615.75	3734.91	66.67	88.89	4.20	6.30
			B	7	16	6.16	615.75	3758.65	84.46	85.97	5.00	9.00
			C	9	12	7.63	615.75	3781.43	100.95	83.26	6.00	12.00
2	400	75	A2	7	12	4.62	765.77	5405.79	55.25	112.87	5.50	8.25
			A3	7	16	6.16	765.77	5432.93	70.73	109.71	6.50	9.75
			B	9	12	7.63	765.77	5458.95	88.16	107.79	7.50	13.50
				7	20	7.70	765.77	5460.06	84.84	106.83	7.50	13.50
			C	9	16	10.18	765.77	5503.81	105.53	102.62	9.00	18.00
3	450	80	A1	7	12	4.62	929.91	7499.79	46.49	139.23	7.50	11.25
			A2	7	16	6.16	929.91	7532.03	59.97	135.90	8.50	12.75
			A3	9	12	7.63	929.91	7562.96	67.46	134.04	10.00	15.00
				7	20	7.70	929.91	7564.27	72.49	132.79	10.00	15.00
			B	7	24	9.24	929.91	7596.51	84.08	129.92	11.00	19.80
			C	9	20	12.72	929.91	7669.56	108.62	123.85	12.50	25.00
4	500	90	A1	7	16	6.16	1159.25	10362.44	49.45	172.66	10.50	15.75
			A2	7	20	7.70	1159.25	10399.83	60.19	169.34	12.50	18.75
				9	12	7.63	1159.25	10398.31	56.02	170.63	12.50	18.75
			A3	7	24	9.24	1159.25	10437.22	70.32	166.21	14.00	21.00
			B	7	28	10.78	1159.25	10474.61	80.48	163.08	15.00	27.00
			C	9	24	15.27	1159.25	10583.74	104.56	155.64	17.00	34.00
5	600	100	A1	7	20	7.70	1570.80	17255.62	46.00	235.40	17.00	25.50
			A2	7	24	9.24	1570.80	17303.38	54.13	232.00	19.00	28.50
			A3	9	20	12.72	1570.80	17411.58	66.82	226.69	22.00	33.00
				7	32	12.32	1570.80	17398.90	69.38	225.62	22.00	33.00
			B	9	24	15.27	1570.80	17490.53	80.13	221.12	25.00	45.00
			C	9	32	20.36	1570.80	17648.44	102.89	211.60	29.00	58.00

- Notes :
- 1. Piles generally comply to JIS A 5335 - 1987 and modified to suit ACI 543 - 1979 & P.B.I 71.
 - 2. Specified Concrete cube Compressive strength is 600 Kg/cm2 at 28 days.
 - 3. Allowable axial load is applicable to pile acting as a short strut.

lam Perencanaan Struktur Gedung Parkir ini dipakai tiang
ancang WIKI :

Tipe of pile

PRESTRESSED SPUN CONCRETE PILE

Standard Dimension

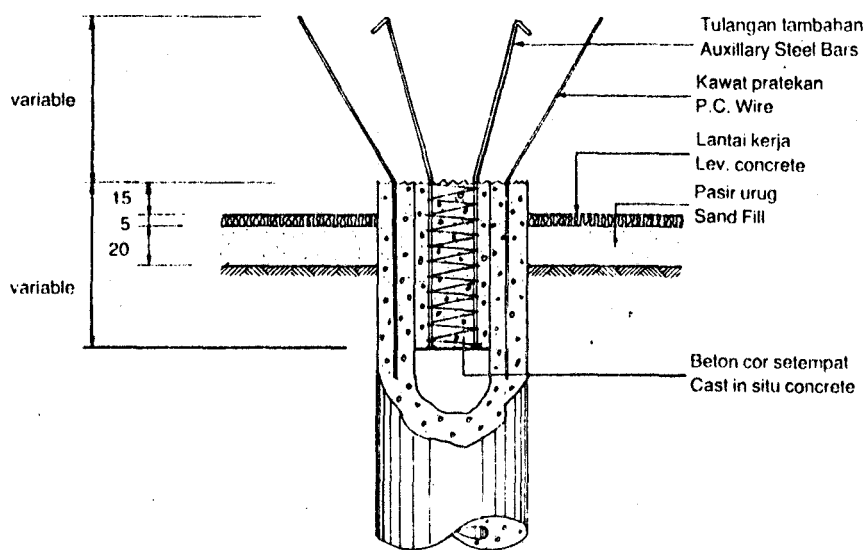
DIAMETER	:	600 mm
THICKNESS	:	100 mm
UNIT WEIGHT	:	408 kg/m
LENGTH OF EACH SECTION	:	14 m

Wika Pile Classification

CLASS	:	C
PC WIRE	:	D = 9 mm. Number = 32
EFFECTIVE PRESTRESS	:	102.89 kgf/cm ²
P allowable	:	211.60 Tf
M crack	:	29.00 tf.m
M ultimate	:	58.00 tf.m

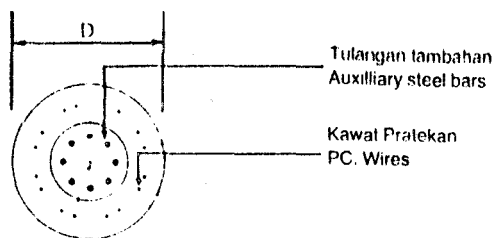
Hubungan dengan Poer

Pile Cap Connection Detail



TYPE I

Beton cor setempat dengan
tulangan tambahan
Cast in situ concrete with
auxiliary steel bars



TYPE II

Tulangan tambahan sebagai
bagian dari tiang pancang
WKA
Auxiliary Steel Bars cast
in top section of WKA
Pile

